

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроніки

(назва факультету, інституту)

Кафедра мікроелектроніки

(назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності _____ *153 «Мікро- та наносистемна техніка»*

(код і назва)

спеціалізація _____

на тему: _____ Оптоелектронний частотно-амплітудний перевтворювач

Виконав (-ла): студент (-ка) __6__ курсу, групи _____

(шифр групи)

Гейвах Юрій Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник _____ проф. Вербицький В.Г. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю _____ доц., к.т.н., Орлов А.Т. _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з інформаційних питань _____ ст.викл., к.т.н., Діденко Ю.В. _____

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

АНОТАЦІЯ

В ході виконання дипломного проекту було розглянуто принцип побудови елементів оптоелектроніки, зокрема запропоновано метод керування пристроями такого типу. Увага приділена розробленню приладів оптоелектроніки з використанням рідких кристалів як активного середовища і дослідженню ефектів, на основі яких працює прилад. Запропоновано та розраховано RC-модель модулятора для амплітудної модуляції світла частотно-модульованим електричним сигналом. Дослідження проводили на немато-холестеричних сумішах з додатною діелектричною анізотропією. Здійснено порівняння характеристик приладу на основі твіст-ефекту і холестерико-нематичному переході.

Зняті експериментальні залежності оптичного пропускання рК-комірки (активного елемента модулятора).

ABSTRACT

During the course of our work, we considered the principle of optoelectronic elements creation. The method such devices controlling is suggested. The main point of this article is optoelectronic devices modelling by using liquid crystals as a active medium and effects, which use in such devices are investigated. Modulator RC-model for amplitude light modulation by modulated electric signal is propoused. investigation was carried out on nematiccholesteric mixtures with positive dielectric anithotrophy. Performance of devices the base on twist and cholesteric-nematic transition effects was compared. Experimental response of LC-cell's optic transition(active modulator element) was measured.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	2
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ОПТОЕЛЕКТРОНІКА	4
1.1	5
1.2 Властивості та характеристики оптичного випромінювання	8
1.3 Відомості з фотометрії	10
1.4 Джерела випромінювання	14
1.5 Основні параметри джерел випромінювання	19
1.6 Особливості та перспективи сучасного розвитку	21
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	25
2.1 Фотокатод	25
2.2 Фокусуючі електронно-оптичні системи	27
2.3 Практичне використання ЕОП	28
РОЗДІЛ 3 ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНО-АМПЛІТУДНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ	37
3.1 Основні поняття	37
3.2 Розрахунок RC моделі модулятора	39
3.3 Вибір матеріалів та методика проведення дослідження	41
3.4 Результати вимірювань	42
РОЗДІЛ 4: РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	50
4.1. Опис ідеї проекту	50
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	52
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	53
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	60
4.5.	67
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Метою дипломного проекту є практичне відпрацювання принципу побудови елементів оптоелектроніки, зокрема запропоновано метод керування пристроями такого типу. Увага приділена розробленню приладів оптоелектроніки з використанням рідких кристалів як активного середовища і дослідженню ефектів, на основі яких працює прилад.

Відповідно до поставленої мети були визначені такі завдання:

- 1) на основі огляду та аналізу існуючих методик, вибрати відповідну поставленій меті методику проведення дослідження ;
- 2) обрати правильні матеріали для проведення дослідження
- 3) провести розробку приладу оптоелектроніки з використанням рідких кристалів як активного середовища і дослідженню ефектів, на основі яких працює прилад. Запропоновано та розраховано РС-модель модулятора для амплітудної модуляції світла частотно-модульованим електричним сигналом. Зробити висновок про придатність стенду і застосованої методики, відмітити недоліки у роботі стенду та запропонувати шляхи їх подолання.

Об'єктами дослідження були вибрані немато-холестеричні суміші, синтезовані на базі серійної нематичної суміші СЖК-1 та промисловий зразок твіст-комірки [1-3]. Для проведення експерименту були виготовлені рідкокристалічні комірки типу “сендвіч” на сумішах СЖК + 0.5, 1, 2.5, 4, 5 % ВіХН-3 (оптично-активна домішка), із товщиною прошарку 25 мкм. Даний вибір пояснюється простотою виготовлення комірок і відсутністю поляризаторів. Крім того, холестерико-нематичний перехід (ХНП) в нематохолестеричних сумішах (НХС) є одним із перспективних ефектів у рідких кристалах.

РОЗДІЛ 1. ОПТОЕЛЕКТРОНІКА

1.1 Загальні поняття

Оптоелектроніка - напрямок електроніки, що охоплює питання використання оптичних і електричних методів обробки, зберігання і передачі інформації. Оптоелектроніка є етап розвитку радіоелектроніки та обчислювальної техніки, відмінною рисою якого є використання для обробки інформації оптичного випромінювання.

До оптичному випромінюванню відноситься електромагнітне випромінювання у видимому діапазоні (з довжиною хвилі 0,4 - 0,8 мкм), інфрачервоному ($0,8 - 10^3$ мкм) і ультрафіолетовому ($10^{-3} - 0,4$ мкм).

До основних складових оптоелектронних приладів належать список джерел випускання (некогерентного або бреггівського), зорові сфери також приймачі випромінювання. Дані компоненти у різних приладах використовуються так само як у варіанті різних композицій, таким чином також варіанті незалежних приладів також конструкцій з оригінали ними індивідуальними питаннями. Оптоелектроніка виділяється з кріогенної також напівпровідникової електроніки наявністю в ланцюжка сигналу зорового ланки (зорової взаємозв'язку). За Цією Причини плюси оптоелектроніки формуються, у головну черговість, достоїнствами зорової взаємозв'язку згідно зіставленні з гальванічної, але таким чином адже проблеми здібностями, Які розкриваються у слідстві застосування різних фізіологічних явищ, зумовлених взаємодією випромінювання з елементом.

Оптоелектроніка синтезує звершення ладу сфер уроку також технічної: напівпровідникової електроніки, фотонної електроніки, фізики фотоелектронних пристроїв, Електрооптика, нелінійної оптики, волоконної оптики, голографії, папороть технічної також світлотехніки.

Базисні гідності оптоелектронних пристроїв також приладів обумовлюється відповідними головними відмінними рисами.

1. Частота електромагнітних коливань в оптичному діапазоні багато більше, ніж в радіодіапазоні, а саме 10^{13} - 10^{15} Гц, що зумовлює високу швидкість передачі інформації і високу інформаційну ємність оптичного каналу зв'язку.

Для передачі звичайного телевізійного сигналу потрібно смуга частот $\Delta\nu \geq 8$ МГц. У метровому діапазоні при значенні несучої частоти $\nu_0 \leq 300$ МГц, можна передати близько десятка ТВ програм. В оптичному діапазоні при тому ж співвідношенні $\Delta\nu / \nu_0$ їх число зростає в мільйон разів.

2. Оптичне випромінювання має малу довжину хвилі (≤ 1 мкм). Наслідком цього є: висока щільність запису інформації в оптичних ПЗУ

($\sim 10^8$ біт / см^2); висока концентрація оптичного випромінювання в просторі, так як мінімальний обсяг, в якому може бути сфокусовано електромагнітного випромінювання становить $\sim \lambda^3$.

З цієї причини світлопроводи можуть бути на кілька порядків менше волноводов СВЧ. Кутова розбіжність променя $\sim \lambda$, для оптичного діапазону неважко сформувати вузьку діаграму спрямованості з кутовим розбіжністю $\sim 1^\circ$. і якщо в СВЧ ($\lambda = 1$ м) для цього необхідна антена діаметром - 100 м, то в оптичному - сферичне дзеркало або лінза менших розмірів.

3. Можливість подвійної - тимчасової і просторової модуляції світлового променя, що дозволяє проводити паралельну обробку інформації і отримувати об'ємне голографічне зображення.

4. Передача інформації здійснюється фотонами - електрично нейтральними частками, внаслідок чого реалізується:

а) ідеальна гальванічна розв'язка входу і виходу.

б) Односпрямованість струменя даних також недолік протилежної взаємозв'язку.

в) Несприйнятливість зорових каналів у впливу електромагнітних полів, в такому випадку є перешкодозахищеність, виняток повені та невелике згасання сигналу.

5. Ймовірність безпосередно оперування з візуально приймаються фігурами, сприйняття в вході також візуалізації в виході.

хроніка оптоелектроніки спирається в кілька базових фізіологічних відкриттів у сфері генерації, способу також перетворення світлового випромінювання. До основних віх у передісторії також формування оптоелектроніки можливо причисли відповідне:

1864 - Дж. Максвелл отримав основні рівняння електродинаміки, що дозволили успішно пояснити сукупність досвідчених даних по оптиці - явищ дифракції, інтерференції, рефракції та ін., Отримані раніше Х. Гюйгенсом, І. Ньютоном, О. Френеля, М. Фарадеєм і ін.

1873 - У. Сміт експериментально виявив явище фотопровідності (Внутрішній фотоефект).

1875 - Керр виявив електрооптичний ефект.

1888 - А.Г. Столетов отримав повний опис зовнішнього фотоефекту, Ульянин виявив ЕРС в Se при опроміненні.

1905 - А. Ейнштейн запропонував квантову теорію фотоефекту.

1905 - Гертель і Ельстед створили фотоелемент.

1917 - А. Ейнштейн теоретично передбачив можливість отримання вимушеного (індукованого) випромінювання.

1917 - Розпочато промислове виробництво фотоприймачів на основі TaS.

1922 - О. Лосєв виявив свічення в контакті метал - SiC (інжекційну Електролюмінесценція).

1936 - Ж. Дестріо виявив свічення в кристалі ZnS по дією електричного поля (предпробойную Електролюмінесценція).

1940 - В. А. Фабрикант сформулював умови створення негативного поглинання (посилення випромінювання).

1947 - Д. Габор обґрунтував основні принципи голографії.

Початок 50-х. Створено фотодіоди і фототранзистори на р-п переходах

1954 - А.М. Прохоров, Н.Г. Басов і Ч. Таунс (США) створили молекулярний генератор на аміаку (мазер).

1955 - Лебнера запропонував об'єднати джерела і приймачі оптичного випромінювання в одному корпусі (оптрон). Їм же було запропоновано назву - оптоелектроніка.

1956 - Відкрито инжекционная електролюмінесценція в р-п переходах на арсеніді галію.

1960 - Створено твердотільний лазер на рубін.

1961 - Створено газовий гелій-неоновий лазер.

1962 - Н.Г. Басовим показана можливість створення напівпровідникового лазера.

1963 - І. Холлом (США) реалізований арсенідгаллієвий лазер.

1962-1963 - Записані лазерні голограми на поверхні (Е. Лейт і Ю. Упатнієкс) і в об'ємі речовини (Ю.М. Денисюк).

1962 - Створено інфрачервоні випромінюючі діоди на основі GaAs.

1964 - Створено світлодіоди на GaP, що випромінюють у видимому діапазоні (червоні, зелені).

1963-1967 - Ж. І. Алфєровим створені напівпровідникові лазери на гетеропереходах.

1965-1967 - Почалося промислове виробництво оптронов.

1966-1967 - Отримано перші зразки низьковольтних катодолімінесцентному індикаторів.

1966-1968 - Розпочато випуск світлодіодних і рідкокристалічних індикаторів.

1969 - Створено багатоелементні матричні фотоприймачі (ПЗС).

1966 - Као і Хокхем (Англія) показали можливість малого поглинання оптичного випромінювання в склі.

1970 - Капрон, «Корнінг глас компанії», (США) почали випуск промислових світловодів з малим поглинанням - 20 ДБ / км.

1974 - Т. Іногучі (Шарп) створений перший тонкоплівковий електролюмінесцентний екран.

1978 - Показана можливість здійснення волоконно-оптичного зв'язку.

1997-1998 - Створені і почали випускатися світлодіоди з синім, фіолетовим і білим кольором світіння.

На даний період виконана тільки незначна частка Списку перевагу оптоелектроніки. До багатообіцяюче тенденціям формування оптоелектроніки можливо причисли дослідження зорових також оптоелектронних мікросхем, ключів також приймача випромінювання на базі фотонних пунктів також селище під напівпровідникових структурах, волоконно-оптичних Вимірювач також спрямований взаємозв'язку, голографічних пристроїв фотонних ПК також ін.

1.2 Властивості та характеристики оптичного випромінювання

Оптичний діапазон відповідно до визначення Міжнародної комісії з освітлення (МКО) включає в себе електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі λ від 1мм до 1 нм. Зазначений діапазон досить широкий, довгохвильова його частина - 0,1-1мм перекривається з субміліметровий радіохвилями, короткохвильова частина - 1-10 нм включає в себе м'яке рентгенівське випромінювання. Оптичне випромінювання підрозділяється на видиме, інфрачервоне (ІЧ) і ультрафіолетове (УФ). інфрачервоне випромінювання іноді поділяють на ближню ($\lambda < 3$ мкм) і далеку ($\lambda > 3$ мкм) область.

Оптичне випромінювання характеризується як хвильовими, так і корпускулярними властивостями, що дозволяє по-різному описувати його характеристики. При описі випромінювання як електромагнітної хвилі

світловий вектор (напруженості електричного поля) залежить від наступних параметрів:

$$E = e * E_0 * \sin(\omega * t - \omega * n * x / c + \varphi_0), \quad (1.1)$$

де e - одиничний вектор, що характеризує напрямок поляризації хвилі,

E_0 - амплітуда напруженості поля хвилі,

$\omega = 2\pi\nu$ - циклічна частота коливань,

n - показник заломлення середовища, швидкість світла у вакуумі,

φ_0 - початкова фаза. швидкість поширення світла в даному середовищі ($v = c / n$) залежить від величини показника заломлення ($n^2 = \epsilon * \mu$). Кожен з параметрів електромагнітної хвилі - E_0 , e , ω , ν – може бути використаний для модуляції оптичного випромінювання.

При використанні корпускулярних властивостей світла для опису оптичного випромінювання світловий потік представляють потоком фотонів з енергією $E_f = h\nu$.

З метою відображення взаємозв'язку характеристик зорові випускання застосовують відповідне відповідності, то що виражають частоту також енергію фотонів за допомогою протяжності хвилювання:

$$\nu = 3 * 10^{14} / \lambda, \quad (1.2)$$

$$E_f = 1,23 / \lambda = 4,1 * 10^{-15} \nu, \quad (1.3)$$

де розмірність: ν в Гц, λ в мкм, E_f в еВ. Щільність потоку фотонів пов'язана з щільністю потужності випромінювання

$$N_f = * 10^{15} \lambda \text{ Різл}, \quad (1.4)$$

де розмірність $[N_f] = 1 / \text{с} * \text{см}^2$, А $[\text{Різл}] = \text{мВт} / \text{см}^2$

Оптичне випромінювання здатний бути бреггівського також некогерентного. У сукупному епізоди потік освітлення вважається суперпозиції електромагнітних підйом. Некогерентного випускання з'являється, якщо будь-який частка виробляє радіовипромінювання Самостійності, тенденції поляризації також фази підйом (буква, φ_0) різні. З Метою бреггівського випускання, якщо розгойдування випромінюючих атомів узгоджені, дані характеристики незмінні. З Метою бреггівського випускання допустимо

моніторинг явищ інтерференції випускання, якщо у слідстві формування Підйом їх відхилення знаходиться в залежності з різниці фаз. З Метою некогерентного випускання загальний значимість амплітуді ніяк не залежить з різниці фаз.

З метою відображення появи також просування випускання, але крім того взаємодії випромінювання з елемента Застосовують різноманітні сегменти оптики.

Геометричний фотооптики вікорістовує Подання світлових пробісків з метою розгляду дій відображення також загорнутих. Бурхлива фотооптики вікорістовує уявлення освітлення, так само як електромагнітні хвилі, з метою явищ інтерференції, дифракції, розсіювання також ін. Фотонна фотооптики аналізує світиться протягом, так само як протягом фотонів, з метою Відображення явищ фотоефекту, лазерний генерації, фотохімії також ін.

1.3 Відомості з фотометрії

Історично склалося таким чином, то що через фотометричні лічені одиниці способів Подібні властивості випускання, які об'єднані з його Вплив в очі особи. Однак часто з метою Відображення Якості випускання також його діяльність зі торговими елемента використовують частину. Визначення адже енергетичних даних випускання вступати у проблеми радіометрії.

Подібним способом, у оптоелектроніці використовують 2-мя концепціями одиниць: фотометрической також енергетичних. До Прикладу, коефіцієнт корисної дії віпромінювача формуються частина, але візуальний Почуття з його випускання - фотометрическими. У табл. 1. повалені головні енергетичні також належні Їм фотометричні лічені одиниці.

Таблиця 1. Основні енергетичні і фотометричні одиниці

Энергетическая величина	Обозначение	Единицы	Фотометрическая величина	Обозначение	Единицы
Энергия излучения	Q_e	Дж	Световая энергия	Q_ϕ	лм*с
Поток излучения (мощность)	Φ_e, P	Вт	Световой поток	Φ_ϕ	лм
Энергетическая светимость	R_e	Вт/м ²	Светимость	R_ϕ	лм/м ²
Энергетическая освещенность	E_e	Вт/м ²	Освещенность	E_ϕ	лк
Сила излучения	I_e	Вт/ср	Сила света	I_ϕ	кд
Энергетическая яркость	V_e	Вт/м ²	Яркость	V_ϕ	кд/м ²

У вітчизняній і зарубіжній літературі широко використовується позасистемний термін - інтенсивність випромінювання (intensity). Англійському "intensity" відповідає російське "сила світла", і відповідно до Держстандарту, це поняття відноситься до характеристики випромінювача. Однак цей термін часто застосовують і до випромінювання, що падає на поверхню фотоприймача. Тому одиницями вимірювання можуть бути Вт / (ср * м²) (Це збігається з одиницею яскравості) або Вт / см² (і тоді це відповідає одиниці світності або освітленості).

іноді при роботі з випромінюванням складного спектрального складу під інтенсивністю розуміють спектральну щільність потужності випромінювання $\partial P / \partial \lambda$ (Вт / нм).

Між величинами, наведеними в табл. 1, існує суворий зв'язок. Розглянемо ці величини докладніше. Потік випромінювання Φ_e, ϕ - повна енергія, яку випромінює джерелом у всіх напрямках в одиницю часу. Освітленість $E_e, \phi = d\Phi_e, \phi / dA$ - величина потоку випромінювання, що припадає на одиницю освітлюваної поверхні.

За одиницю світності $R_e, \phi = d\Phi_e, \phi / dA$ приймають потік випромінювання в 1 Вт (1 лм), що віддають поверхнею джерела площею 1 м². Сила світла (випромінювання) в даному напрямку $i_e, \phi = d\Phi_e, \phi / d\Omega$

визначається ставленням величини потоку випромінювання до величини тілесного кута, в якому даний потік поширюється. Якщо джерело випромінює на всі боки рівномірно, то повний потік $\Phi = 4\pi I$. У тому випадку, коли $\Phi = 4\pi$ (Вт або лм), джерело має типову силу світла 1 Вт / ср або 1 лм / ср = 1 кд.

Кандела (основна одиниця виміру в фотометрії) являє собою силу світла в даному напрямку від джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частоти $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку становить 1/683 Вт на стерadian. За одиницю яскравості B_e , $\phi = d\Phi_e$, ϕ / dA приймають кількість випромінювання, рівномірно випускається плоскою поверхнею площею 1 м² в перпендикулярному до неї напрямі при енергетичній силі світла 1 Вт / ср (1 лм / ср). Згідно з визначенням, сила світла і яскравість джерела випромінювання залежать від напрямку спостереження. Дійсно, як впливає з рис. 1 сила світла від елемента поверхні dA джерела в напрямку s , перпендикулярному його поверхні, дорівнює $dI = B dA$, а в напрямку s' $dI = B dA \cos\Theta$ (тут Θ – кут між нормаллю до поверхні, що випромінює і напрямком спостереження). Звідси яскравість $B = (1 / \cos\Theta) dI / dA$. У нашому випадку i - це сила світла, що посиляється елементом поверхні, яку видно в даному напрямку.

Для поверхні, що випромінює дифузно, справедливий закон Ламберта, згідно з яким сила світла джерела пропорційна $\cos\Theta$. Тому його яскравість не залежить від кута спостереження.

Зв'язок між світловим потоком Φ_ϕ (лм) і енергетичним потоком Φ_e (Вт) для видимої області спектра визначається залежністю: Φ_ϕ (лм) = $k_\lambda \Phi_e$ (Вт), де k_λ (лм / Вт) - фотометричний еквівалент випромінювання, що залежить від довжини хвилі. У відносних одиницях ця величина позначається як V_λ і називається функцією видимості.

На рис. 2. представлена спектральна залежність k_λ . Ця крива відповідає усередненої спектральної чутливості людського ока. Максимум величини k_λ , розташований при $\lambda = 550$ нм (зелене світло) і становить 683 лм / Вт. Наведена крива характеризує джерело випромінювання як слабкий або яскравий залежно від його довжини хвилі при однаковій потужності випромінювання.

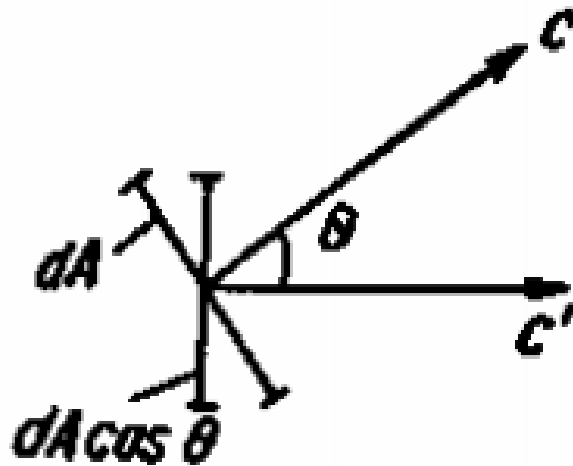


Рис.1 До висновку вирази для яскравості джерела випромінювання

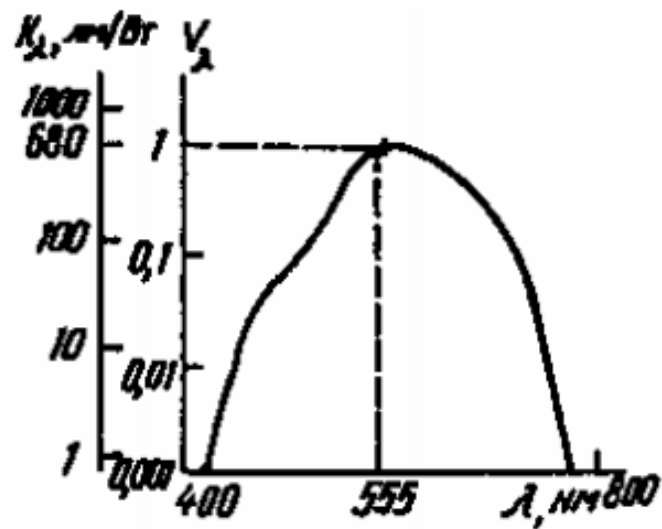


Рис.2 Спектральна залежність фотометричного еквівалента випромінювання і функції видимості

Відповідно до сучасних визначень, оптичний діапазон спектра складають електромагнітні коливання з довжиною хвилі від 0,1 мм до 1 нм. Однак більшість оптоелектронних приладів працюють в значно більш вузькому

інтервалі довжин хвиль 0,2 -10 мкм. У табл. 1.2. представлені умовні кордони частин оптичного діапазону.

Таблиця 2. Умовні кордону областей оптичного спектрального діапазону

Диапа- зон	УФ-С	УФ-В	УФ-А	Фиолето- вый	Синий	Зеленый
λ (мкм)	<0,28	0,28-0,32	0,32-0,40	0,40-0,44	0,44-0,49	0,49-0,55
Диапа- зон	Желтый	Оранже- вый	Красный	ИК-А	ИК-В	ИК-С
λ (мкм)	0,55-0,59	0,59-0,63	0,63-0,80	0,80-1,30	1,30-1,50	>1,50

1.4 Джерела випромінювання

Джерелами випромінювання називають обладнання, що переводять гальванічну енергію збудження у Зорове радіовипромінювання встановленого спектрального складу також пластичного розподілу. Список Джерел - база кожної оптоелектронної концепції, вони встановлюють її функціональні можливості, робочі також вартісні властивості, якості Інших компонентів - фотоприймачів, бездіяльним оптоелектронних компонентів.

Кожне радіовипромінювання тулуба, у цій кількості також зорове, супроводжується втратою енергії.

З метою надання безперервності випускання слід доповнювати скорочення енергії. Згідно типу поповнення енергії відрізняють 2 типи випускання: термічне, також люмінесценції.

Теплове випромінювання виникає тоді, коли енергія, що бурия випромінюванням, поповнюється повідомленням тілу відповідної кількості тепла. Теплове випромінювання існує для всіх тіл, температура яких відмінна

від нуля ($T \neq 0$), але інтенсивність і спектр випромінювання залежать від їх температури.

Для абсолютно чорного тіла світність описується законом Стефана-Больцмана:

$$\epsilon_T = \sigma T^4, \quad (1.5)$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт / см}^2 \cdot \text{К}^4$

Для сірих тіл спектральна щільність світності

$$E_T = A_T \cdot \epsilon_T, \quad (1.6)$$

де коефіцієнт $A_T < 1$. Довжина хвилі, відповідна максимуму інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла, визначається температурою випромінюючого тіла відповідно до закону зміщення Вина - $T \cdot \lambda_{\max} = b = 2898 \text{ мкм} \cdot \text{К}$. Якщо випромінює матеріал не відповідає абсолютно чорного тіла, то величина постійної b має менше значення, залежне від температури. Для вольфрамової нитки в лампах розжарювання - $b_w = 2660 \text{ мкм} \cdot \text{К}$.

Спектральна щільність світності (Вт / см^3) Визначає розподіл інтенсивності випромінювання в залежності від його спектрального складу. Для абсолютно чорного тіла в діапазоні від $0,5\lambda_{\max}$ до $3\lambda_{\max}$ зосереджується 90% всієї потужності теплового випромінювання.

Повний опис властивостей і характеристик теплового випромінювання ґрунтується на використанні формули Планка для спектральної щільності світності абсолютно чорного тіла:

$$E_{\lambda T} = 2\pi h c^2 \lambda^{-5} / (\exp hc / \lambda k T - 1), \quad (1.6)$$

з урахуванням емпіричних параметрів, що враховують відхилення властивостей використовуваних матеріалів від абсолютно чорних тіл.

Термічне радіовипромінювання широко застосовується у лампах розжарювання, які порівняно вкрай рідко застосовуються у властивості ключів випромінювання в оптоелектронних приладах. Під в такому випадку адже період лампи розжарювання вважається аж до ЦИХ часів більш популярними освітлювальним пристроями. У кріогенне пробірці основою термічного

випускання вважається лінією створення, гаряча аж до температури ~ 2450 До, вузькою підставою активного випаровування нитки.

При цій температурі максимум інтенсивності випромінювання відповідає інфрачервоної області $\lambda_{\max} = 1,1$ мкм, тобто лампи розжарювання більше гріють, ніж світять. У зв'язку з цим вони мають порівняно низьку світловіддачу ~ 10 лм / Вт і ККД 1,6%. Більш високу ефективність мають газонаповнені лампи розжарювання, в яких скляні колби наповнені інертним газом (N_2 , Ar_2).

У них сповільнюється розпорошення нитки, тому температура розжарення може бути підвищена до 2700-2900 К, що забезпечує зменшення довжини хвилі максимальної світності і підвищення світловіддачі до 20 лм / Вт і ККД до 3,5%.

До переваг ламп розжарювання можна віднести низьку вартість, високу температурну і радіаційну стійкість, високу інтегральну яскравість $\sim (1-10) * 10^6$ кд / м² (Для порівняння - яскравість поверхні Сонця дорівнює $1,5 * 10^{10}$ кд / м²). Недоліками ламп розжарювання є наявність вакуумної системи, широкий спектр випромінювання, значна інерційність (10^{-2} - 10^1 с), низький ККД.

Більш популярним у оптоелектронних ключах випускання вважається застосування нетеплових ключів випускання, застосовують різноманітні різновиди люмінесценції.

Фосфоресценція - радіовипромінювання, зайве треба термічним також володіє тривалість істотно більш етапу сумнівів світиться хвилювання. 1-ша частка встановлення ізолює люмінесценцію з термічного випускання, в такому випадку є фосфоресценція вважається «холодним свіченням» - сила з метою випускання здатний сходити різним нетепловим методом. Під в такому випадку адже період слід брати до уваги, то що кожної тип люмінесценції супроводжує також термічним випромінюванням тулуба, жар якого постійно відмінна від нуля. 2-Ая частка встановлення дає можливість розділяти люмінесценцію з дій відображення освітлення з площини також розсіювання випускання.

Фосфоресценція супроводжує передачею енергії тулуба нетепловим методами, якщо сила елементів, у Зокрема, електронів зростає, також даний надлишок енергії використовується в радіовипромінювання фотонів. У

матеріалі через результат енергії зовнішнього впливу частка електронів з тільних рівноважних ступенів передається в найбільш великі, потім повернуться зі випусканням фотонів, протяжність хвилювання випускання обумовлюється різницею енергій електронів -

$\lambda \text{ (мкм)} = 1,23 / (E_2 - E_1) \text{ (eV)}$. Фосфоресценція розділяється відповідно до методу віз енергії в фотолюмінесценцію, катодолумінесценцію, Електролюмінесценція, радіолумінесценції, хемілюмінесценцію також ін. У оптоелектроніці в джерелах випускання застосовуються у наш час період у головному руху електричеських-, катодо- також фотолюмінесценції.

Прояв електролюмінесценції застосовується у твердотільних ключах випускання, в якому місці у властивості використаних матеріалів використовуються напівпровідникові елементи. У напівпровідниках широта заборонено області, що встановлює енергію переходу електронів відповідає енергії квантів оптичного діапазону.

Відповідно з цим, сила розбурханих електронів повинна відповідати відповідно до системи величини зі енергією збудженості також енергією яких випромінюється фотонів. Найчастіше збудженості електронів відбувається під 1 ділянці кристала або в абсолютно всім його розмірі, але їх фотонні переходи зі випромінюванням - у іншому, з цієї причини у сукупному випадку дій люмінесценції виглядають 3 головні руху.

1. Недотримання зовнішнім впливом, трансформація електронів у схвильоване положення.

2. Надання енергії фокусів саява, сполучена з зміною пластичного також (або) енергетичного затвердження розбурханих електронів.

3. Трансформація електрона, супроводжує випромінюванням фотона.

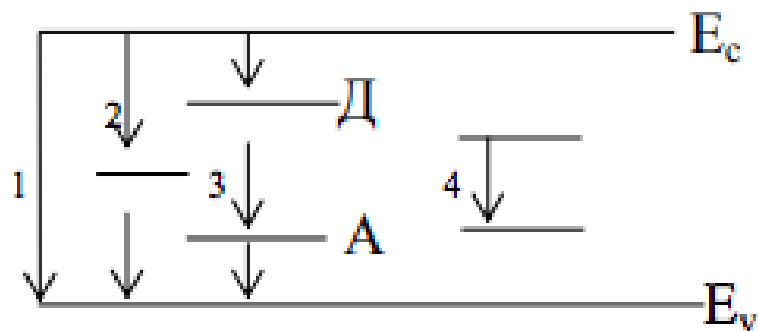


Рис. 3. Випромінювальні переходи електронів в забороненій зоні напівпровідника.

Міжзонного випромінювальні переходи (1) з випромінюванням можливі лише в прямозонних напівпровідниках (наприклад, GaAs та інші сполуки A_3B_5 та їх тверді розчини). Випромінювальні переходи 2, 3, 4 можливі в будь-яких напівпровідниках, але за участю домішкових рівнів. Домішки в цьому випадку носять назву центрів світіння або активаторів і в загальному випадку включають в себе системи, що складаються з комплексів дефектів і домішок, які забезпечують випромінювальні переходи електронів.

Променисті переходи 1, 2, 3 містять у собі сприяння незалежних носіїв (електронів також дірок) у місцях провідності також атомної, в такому випадку є пов'язані зі зміною провідності напівпровідника.

Відомості руху з'єднуються найменуванням рекомбінаційна фосфоресценція. Променисті переходи електронів з розбурханого в головній ступінь (4) здійснюються тільки у межах 1-го примесного середини, в такому випадку є не пов'язані з зміною зосередження незалежних носіїв також провідності напівпровідника. У даному випадку повідомляють про внутріцентривой люмінесценції. Різні різновиди рекомбинационной також внутріцентривой люмінесценції володіють різними рисами.

Крім осередків саява у напівпровідниках можуть діяти домішки, формують осереддя гасіння (ліквідація), які мають всі шанси бути осередками безизлучательной рекомбінації, що знижують результативність дій випускання. можливість променистих дій зі зацікавленістю домішкових осередків

збільшується зі збільшенням їх зосередження аж до конкретного кордону, з перевищенням якого результативність генерації випускання знижується (концентраційний ліквідація). З підвищенням температури напівпровідника висновок випускання крім того знижується (температурне ліквідація).

Присутність значних ступенях збудженості допустимо виникнення оже-рекомбінації, якщо сила електрона переходить іншим електронам у області провідності, вони передаються в найбільш великий ступінь енергії у відсутності зміни їх єдиної зосередження також значимість провідності напівпровідника. можливість Оже-рекомбінації збільшується зі збільшенням концентрації вільних носіїв заряду в напівпровіднику. Співвідношення між числом випромінювальних і безвипромінювальних переходів визначає внутрішній квантовий вихід η_k , рівний відношенню числа фотонів до числа електронів, що пройшли через напівпровідник. Для деяких видів люмінесценції внутрішній квантовий вихід наближається до одиниці, особливо при досить низьких температурах.

Так як не всі фотони виходять з джерела випромінювання, він характеризується зовнішнім квантовим виходом $\eta_{ke} = \eta_k * K_0$, де коефіцієнт K_0 враховує втрати, пов'язані з відображенням і поглинанням світла. Внутрішній квантовий вихід визначається трьома складовими - $\eta_k = N * \gamma * P$, де γ - частка рекомбінації, що відбуваються в люмінесцирующей області напівпровідника, P - частка випромінювальних рекомбінацій, N - число рекомбінацій, що викликаються одним електроном. величина внутрішнього квантового виходу зменшується з ростом температури. Зовнішній енергетичний вихід (ККД) люмінесценції, визначається як

$$\eta_e = \eta_{ke} h\nu / EV, \quad (1.7)$$

де $h\nu$ - енергія фотонів (Дж),

EV - енергія електронів (Дж), що пройшли різниця потенціалів V .

Аналогічний параметр - світловіддача характеризує ефективність джерел випромінювання у видимому діапазоні - $\eta_L = \Phi_L / W$, де Φ_L - світловий потік випромінювання (лм), W - споживана джерелом потужність (Вт).

1.5 Основні параметри джерел випромінювання

Система параметрів джерел випромінювання логічно впливає з функціонального призначення і фізичних принципів роботи двох їх основних різновидів: випромінюючих діодів і лазерів.

Інтенсивність випромінювання характеризує потужність випромінювання Різі (мВт) (для лазерів і інфрачервоних випромінюючих діодів) сила світла J_v (мккд, мкд) (для світловипромінювальних діодів). Обидва параметра вимірюються при завданні номінального або робочому струмі збудження $J_{\text{раб}}$ лазерів і прямому струмі $J_{\text{пр}}$ випромінюючих діодів. У зв'язку з сильною залежністю Різі ($J_{\text{раб}}$) при вимірюванні лазерів щоб уникнути виведення їх з ладу встановлюється Необхідна потужність і вимірюється струм накачування.

Спектральні характеристики джерел випромінювання визначаються довжиною хвилі, що відповідає максимальній інтенсивності спектра випромінювання λ_{max} , (мкм, нм) шириною спектральної смуги $\Delta\lambda$, (нм), яка визначається за 50% -ному рівню спаду інтенсивності. Для випромінюючих діодів і лазерів. Цих параметрів зазвичай досить, для Деяких застосувань іноді потрібно задавати спектральної розподіл Різі (λ) або координати кольоровості x, y .

Для характеристики спрямованості вимірюють кут випромінювання α , що визначається по 50% рівню спаду інтенсивності або діаграму спрямованості Ріслі (ϕ) - залежність потужності випромінювання від кута огляду.

Швидкодія визначається імпульсним параметрам: часом наростання (спаду) імпульсу випромінювання при стрибкоподібного включення (виключення) імпульсу збудження $t_{нар}$ (сп), (нс), і часом затримки імпульсу випромінювання $t_{зад}$, (нс). Ці параметри вимірюються за рівнем 0,1 і 0,9 фронту і спаду імпульсу випромінювання. іноді використовується постійна часу релаксації (спаду) світіння $\tau_{ред}$, що визначається як час зміни інтенсивності в e раз (При експоненційному прийде).

Як елемент електричного кола джерело випромінювання характеризується падінням прямого напруги (або напругою збудження) $V_{пр}$ при заданні струмі $J_{пр}$, а так само максимально допустимим режимам (безперервним і імпульсним) по току, зворотної напруги, потужності розсіювання.

Основні конструктивні параметри: розміри випромінює вікна, тепловий опір R_T (К / Вт).

Основні експлуатаційні характеристики: максимальна і мінімальна робоча температура (T_{max} , T_{min}), Гарантована довговічність t_d (визначається по 10, 30 або 50% -му спаду інтенсивності випромінювання).

Для опису джерел випромінювання можуть вживатися так само і інші характеристики.

1.6 Особливості та перспективи сучасного розвитку

Оснoвoй нинішніх концепцій управління також автоматики оформляють електричні обладнання. Але вони мають ґрунтовні недоліки: невисоку стійкість, потреба достовірного екранування техніки також напрямків взаємозв'язку, значну ціна також значну достаток кабелів управління також передачі сигналів,

проблеми зі наданням гальванічної відособленості, труднощі мікромініатюризації подібних класичних компонентів, так само як реле, контакти, трансформатори, нестійкі резистори.

З метою результативного застосування обчислюваної техніки в ході управління раніше на сьогоднішній день слід гарантувати темп передачі даних згідно з настановами взаємозв'язку до 10^{10} біт/с, для ЕОМ — $10^{10} \div 10^{12}$ біт/с і обсяг пам'яті, що перевищує ємність мозку людини (приблизно 10^{13} біт), а сучасна електроніка близька до теоретичної межі за швидкістю передачі інформації й обсягу пам'яті запам'ятовувальних пристроїв ЕОМ. Значна частина зазначених вище недоліків обумовлена тим, що для передачі інформації в електронних приладах використовуються негативно заряджені частинки — електрони.

За цієї причини з метою ефективного постанова питань подальшого формування інформативної технічної слід використовувати прилади, діяльність яких, базується в інших фізіологічних явищах. Так само як демонструють вивчення, великі здібності показує колективне застосування електричних також зорових способів також грошей, в такому випадку є трансформація з електроніки аж до оптоелектроніки. Оптоелектроніка - це пункт уроку також технічної, досліджує так само як зорові, таким чином також електричні явища в препаратах, їх обопільні взаємозв'язку також перебудови, але крім того обладнання, схеми також концепції, засновані в базі даних явищ.

Незважаючи на те, що оптоелектронні обладнання винайдені відносно не так давно, вони придбали велике просування у різних сферах уроку також технічної, внаслідок власним неповторним властивостям. Особливістю оптоелектронних приладів вважається в такому випадку, то що надання даних виповнюється електрично проміжними фотонами, але це - дає їм базисні гідності згідно порівнянні з електричними пристроями, але безпосередньо:

1) високу інформаційну ємність оптичного каналу, обумовлену тим, що частота світлових коливань ($10^{13} \div 10^{15}$ Гц) у $10^3 \div 10^5$ разів вища, ніж в опанованому радіотехнічному діапазоні;

2) велику щільність запису інформації (до 10^6 біт/мм²), тому що мале значення довжини хвилі світлових коливань забезпечує можливість фокусування променя лазера на площі в 1 мкм²;

3) ймовірність синхронної оброблення даних також прямого оперування фігурами, приймаються з підтримкою зору, таким чином так само як найменша проста платформа під площині, перпендикулярній спрямованості поширення також здатний бути видалена з метою самостійної модуляції частки променя схожа до $10 \div 6$ мм²;

4) значну стійкість каналів взаємозв'язку також недолік обопільних наведень, таким чином так само як зорове радіовипромінювання невпечатлітьное до впливу електромагнітних полів;

5) майже бездоганну електричну розв'язку ланцюжків також, відповідно до цього, також ймовірність формування дуже розгалужених комунікацій, що містять невідповідні неоднорідні покупці енергії;

6) односпрямованість передачі сигналу також недолік протилежної дії приймача в ресурс даних, то що значно спрощує дослідження також планування оптоелектронних концепцій;

7) ймовірність подальшої мікромініатюризації частин також трансформація до сферам зі розподіленими параметрами, розкриває справжні можливості формування приладів багатофункціональної мікроелектроніки також накопиченої оптики. Елементну основу оптоелектроніки оформляють оптоелектронні обладнання, що використовують з метою власної діяльності електромагнітне радіовипромінювання оптичного діапазону.

Оптичний діапазон спектра складають електромагнітні хвилі довжиною l від 1мм до 1нм (виділяють інфрачервоне ($l=0,78\text{мкм} \div 1 \text{ мм}$), видиме ($l=0,38 \div 0,78 \text{ мкм}$) і ультрафіолетове ($l=1 \text{ нм} \div 0,38 \text{ мкм}$) випромінювання).

Елементна база сучасної оптоелектроніки містить в собі такі групи приладів:

1) джерела випромінювання (лазери, світлодіоди);

- 2) фотоприймачі випромінювання (фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристори, фоточутливі прилади з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), фоточутливі прилади з зарядовою інжекцією (ПЗІ));
- 3) оптрони і оптоелектронні мікросхеми;
- 4) прилади для відображення інформації;
- 5) оптичні канали зв'язку (ВОК).

Головною характерною рисою поточного формування грошей електронної техніки вважається трансформація з класичних мікроелектронних елементів у оптоелектронних компонентів також приладів, які дають можливість цілком виконувати необхідності нинішніх важких інформативних також телекомунікаційних технологій.

Елементи оптоелектроніки виглядають аж ніяк не тільки так само як класичні ресурси згідно забезпеченню завадостійкості також порівнянності різних конструкцій під загальному ансамблі, однак також так само як незамінні також неповторні елементи, що забезпечують свідомо новітні якості електричної техніки: багатофункціональну, діаграмну системотехнічної еластичність, здійснення функцій, які неможливо здійснити в простих мікроелектронних складових (наприклад, швидкісна синхронна оброблення данні x).

Багатообіцяючими у оптоелектроніці вважаються обладнання в базі рідких кристалів, які широко використовуються в властивості показників у електричних часи. Водянистим кристали припускають собою базисне елемент (розчин) з якостями кристала також перебувають під перехідному перебування серед кришталевої фазою також рідиною. показники в рідких кристалах мають значну рішення, відносно недорогі у виготовленні, вживають невелику потужність також функціонують присутність великих ступенях освітленості.

Водянистим кристали з якостями, аналогічними монокристалів (нематик), більш часто застосовують у світлових індикаторах також приладах зорової пам'яті. Розроблені також широко використовуються водянисті кристали, що змінюють тон присутність согревании (холестерика). інші види

рідких кристалів (смектики) застосовують з метою термооптичний журнал даних.

Останнім періодом крім того посилено розробляються також набувають просування зорові інтегральні мікросхеми (ОІМС), все без винятку компоненти яких, створюються осадженням в підкладку необхідних використаних матеріалів.

Інноваційні прилади оптоелектроніки приймати рішення проблеми, пов'язані з дослідженням дій оброблення, передачі, збереження, відтворення даних також конструюванням певних функціональних концепцій. До числа основних компонентів подібних концепцій належать: зорові модулятори, дефлектори, монітори, компоненти довготривалої також оперативної пам'яті також ін.

Подібним способом, застосування нинішньої оптоелектронної елементної основи дає можливість гарантувати новітні багатофункціональні також сервісні можливості, які нереально реалізувати класичними промисловими способами. Сукупність оптоелектроніки з мікроелектронікою дає можливість зменшити системотехніческие розв'язки, усунути апаратну надмірність, здійснити перешкодозахисних безреактивное пластичні зовнішні також внутрішні взаємозв'язки.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

2.1 Фотокатод

Фотокатод електронно-зорового перетворювача вважається електродом, що під впливом спадного в нього випускання (освітлення) випромінює електрони. Процедура подібного випускання електронів виношує найменування зовнішнього фотоефекту або фотоелектронній емісії.

Нинішня концепція заявляє, то що освітлення передбачає собою протягом простих елементів, іменованих фотонами. У період випускання також поглинання фотона з'являються або поглинаються так само як загальне єдине, в такому випадку є не в силах трапитися появи або поглинання п'ятдесяти відсотків або той чи інший-в такому випадку частки фотона.

Кожен фотон має енергію $\varepsilon = h\nu$, де ν - частота електромагнітного випромінювання, що має довжину хвилі

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

$c = 299\,792\,458$ м/с - швидкість світла;

h - універсальна постійна Планка, рівна $6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Фотони переміщуються в вакуумі зі швидкістю світла і випромінюють дифракцію і поляризацію абсолютно так само, як електро і магнітні хвилі з довжиною хвилі $\lambda = h \frac{c}{e}$

Процедура появи фотоелектронної емісії можливо представити так само як необхідну суму наступних дій:

- потрапляння фотонів у глибину фотокатода;
- зв'язок фотонів з речовиною фотокатода також поглинання фотонів електронами, у результаті чого сила електронів збільшується в значення,
- переміщення електронів, що мають зайвої енергії, до площини фотокатода;
- освоєння електрона за допомогою зовнішній електроенергетичний перешкода також виведення його у недолік.

У будь-якому жорсткому тулуб, зокрема у фотокатода, електрони конкретним способом розподілені відповідно до власних енергій. Розмір енергії електронів також кількість електронів, що мають великими енергіями, зростають зі збільшенням температури. Енергія, яку слід на додаток забезпечити електричний, для того щоб хтось мав можливість впоратися зовнішній електроенергетичний перешкоду, виношує найменування роботою виходу A . В випадку якщо частка аж до етапу поглинання фотона з енергією

$\varepsilon = h\nu$ мав найбільшу початкову енергію, то після вильоту його в вакуум він буде також мати найбільшу енергію з усіх еміттованих електронів

Якщо електрон мав до поглинання такого ж фотона меншу початкову енергію, то після вильоту в вакуум його кінетична енергія буде також менше, ніж ε_{max} .

Виходячи з такого уявлення про процес фотоелектронної емісії, можна вважати, що:

- енергія емітуючих фотокатодом електронів не залежить від інтенсивності падаючого світла, а залежить тільки від частоти світла ν величини роботи виходу ε_A

- для кожного фотокатода існує найменша частота падаючого випромінювання ν_{\min} , при якій кінетична енергія емітованих електронів стає рівною нулю і, отже, припиняється фотоелектронна емісія. Величина довжини хвилі, відповідна цій частоті, носить назву «довгохвильової» або «червоної» границі фотоефекту λ_0 ;

- при зростанні інтенсивності світла з довжиною хвилі $\lambda < \lambda_0$ зростає число фотонів, що падають на фотокатод в одиницю часу, і пропорційно до цього зростає число емітуючих електронів;

- випромінювання навіть дуже великої інтенсивності, але з довжиною хвилі $\lambda > \lambda_0$ не може викликати фотоелектронну емісію.

У властивості фотокатодов ЕОП застосовуються непрості напівпровідникові шари. Очищені сплави не використовуються, таким чином так само як емісія з їх незначно незначна. Однією з факторів даного вважається цей обставина, то що значна частка спадного в сплав освітлення відображається з його площині. інший фактором вважається в такому випадку факт, то що електрони провідності в металі порівняно вільні також цього, так само як демонструє електроенергетичний обчислення, ніяк не мають всі шанси бути просто протуплено летять фотонами.

Подання з площини напівпровідникових пластів менш, ніж з площини металів. Крім цього, пов'язані електрони у напівпровідниках просто вбирають фотони освітлення також присутність подальшому пересуванні до площини у невеликій рівня уловлюються кришталевої сіткою.

2.2 Фокусуючі електронно-оптичні системи

Електрони, що видаються фотокатодом, мчать згідно найрізноманітнішим тенденціям, також з цієї причини з метою вилучення малюнки фотокатода в

екрані ЕОП їх необхідно сконцентрувати у обмежені пучки. Фокусування здійснюється з підтримкою потужного прискорює степ. Структура степ зобов'язана бути такого роду, для того щоб гарантувати придбання якісного електричного малюнки фотокатода в екрані. Проблеми вилучення якісного електричного малюнки у ЕОП визначена головним способом 2-мя умовами:

- 1) складністю фокусування у слідстві цього, то що електрони вириваються з фотокатода під різними кутами також зі різними вихідними швидкостями;
- 2) потребою відображення великих площин фотокатода.

Круговий поділ швидкості фотоелектронів відповідає закону Ламберта (рис. 4), відповідно до який щільність потоку у будь-якому перебігу під кутом але до перпендикуляру співмірна косинусу даного кута

$$\Delta i_a = \Delta i_0 \cos \alpha \quad (2.2)$$

де $\Delta i_0 \cos \alpha$ - щільність потоку електронів в напрямку, перпендикулярному поверхні фотокатода. Розрахунки показують, що при такому співвідношенні повний потік електронів з елемента площі фотокатода

$$\Delta i = \pi \Delta i_0 \quad (2.3)$$

а потік електронів в тілесному куті, який визначається кутом α , буде дорівнює

$$\Delta i_a = \Delta i \sin^2 \alpha \quad (2.4)$$

Можна приблизно вважати, що основна маса фотоелектронів має початкові швидкості, відповідні енергії до 1 еВ (слід іноді враховувати, що зі зменшенням довжини хвилі падаючого світла кількість «швидких» електронів зростає).

Знаючи ці особливості розподілу фотоелектронів за швидкостями, можна розглянути властивості основних фокусуючих систем електронно-оптичних перетворювачів.

2.3 Практичне використання ЕОП

У практиці під ЕОП використовуються напівпровідникові пласти, інтелектуальні поєднання труби зі цезієм (сур'мяно-цезієвий катод), окисленого срібла з цезієм (киснево-сріблясто-цезієвий катод) також труби зі калієм, натрієм також цезієм (многощелочної катод). Напівпровідникові фотокатоди гарантують фотоемісії з даних пластів під помітною також в тому числі і під інфрачервоної сферах діапазону. Електрони можуть еміттованих фоточутливим пластом з цієї ж площини, що піддається опроміненню (передній фото-ефект), або зі зворотного площині (тильний фото-ефект). В останньому випадку фотокатоди, безумовно, мають здійснюватися досить нетовстими також з цієї причини називаються просвічує фотокатодами. У ЕОП використовуються напівпрозорі фотокатоди також застосовується тильний фотоефект.

Технологія виготовлення фотокатодів в ЕОП відрізняється більшою складністю. Після складання ЕОП припадає до високовакуумної системи і тривалий час прогрівається в печі при температурі близько $+ 400^{\circ} \text{C}$ при безперервній відкачці. Після закінчення прогріву, коли з внутрішньої поверхні деталей і колби, видалені адсорбовані гази і волога, вакуум в ЕОП досягає 10^{-7} мм рт. ст. Подальша обробка залежить від типу і виготовляемого фотокатода.

Технологія виготовлення киснево-срібно-цезієвого фотокатода. На внутрішню поверхню вхідних скляній пластини ЕОП наноситься випаровуванням у вакуумі тонкий напівпрозорий шар срібла. Після нанесення вихідного шару срібла колбу ЕОП наповнюють киснем до тиску $p = 0,8$ мм рт. ст. і збуджують високочастотний розряд. Шар срібла при цьому окислюється іонізованим киснем. Залишки кисню відкачують і колбу нагрівають до температури приблизно -200°C . При цьому всередину колби починають надходити пари чистого цезію, які взаємодіють з окисленим шаром срібла, створюючи фоточутливий шар. Подачу цезію і нагрів ЕОП продовжують до моменту, коли струм на неосвітленому фотокатоді під пічкою при температурі $+200^\circ \text{C}$ досягне максимального значення. Після цього знову наносять незначну кількість срібла і прогрівають фоточутливий шар. Завершенням виготовлення є короткочасний пуск в колбу кисню при тиску $p = 10^{-5}$ мм рт. ст. Останні операції значно підвищують чутливість цих фотокатодів в інфрачервоній області спектра.

Технологія виготовлення сур'мяно-цезієвого фотокатода. На внутрішню поверхню вхідного вікна наносять випаровуванням в ва- вакуумі тонкий шар сурми (близько 10 нм). Контроль за товщиною здійснюється шляхом контролю зміни проходить через шар сурми пучка світла. Коли світловий потік впаде до 70-50% від початкового, випаровування сурми припиняють. Колбу нагрівають до температури $+200^\circ \text{C}$, при цьому всередину колби починають над- пать пари чистого цезію. Утворюється напівпровідниковий з'єднання сурми з цезієм, спочатку відповідає стехіометрическому співвідносячи шенію CsSb , потім Cs_3Sb що характеризується червоним кольором. При утворенні шару Cs_3Sb видання ведеться безперервний контроль за зростанням світловий чутливості, для чого на анод ЕОП подається позитивний потенціал $+150 \text{ В}$. Формуючий фотокатод висвітлюється стабільним джерелом світла, і контролюється показання мікро- амперметра, включеного в ланцюг фотокатода. Коли фотострум досягне найбільшої величини, припиняють нагрівання колби і отпаивают ампулу з залишками металевого цезію.

Іноді для підвищення інтегральної чутливості сур'мяно-цезієвого фотокатода операцію його виготовлення завершують пуском в колбу на кілька секунд кисню при тиску $p = 10$ мм рт. ст. Виготовлений таким чином фотокатод перед- ставлять вобой напівпровідниковий шар Cs_3Sb з плівкою адсорбованого цезію та окису цезію на поверхні. Чутливість такого фотокатода багато більше, ніж у киснево-срібний-цезієвого, однак робота виходу його значно перевищує роботу виходу киснево-срібний-цезієвого фотокатода і досягає $\varepsilon_A = 1,7\text{-}2,0$ еВ, в зв'язку з чим довгохвильова кордон не перевищує 650-700 нм.

Технологія виготовлення багатолужного фотокатода. існує кілька технологічних прийомів виготовлення напівпрозорого багатолужного фотокатода, які зводяться до загального принципу: нанесений випаровуванням шар сурми обробляється при тем- пературі 200-250 ° С послідовно парами натрію, калію і цезію (іноді температура вибирається нижчою). Цезій, як правило, вводиться в колбу в останню чергу, а порядок введення калію і натрію може змінюватися. При багаторазовому нанесенні сурми після обробки кожним лужним металом чутливість фо- токатодів в червоній області може бути підвищена. Значно підвищує чутливість цих фотокатодів обробка малими порціями кисню при тиску $p = 10^* \text{ мм рт. ст.}$

Багатолужний фотокатод володіє найбільшою чутливістю, а його спектральна характеристика простягається в інфрачервону область до 800-900 нм.

Широке застосування набули електронно зорові перетворювачі властивості сприйнятливих компонентів у бойових пристроях нічного примари. Ще у роки 2-ий міжнародний битви був заснований влучний прицілювання, що застосовує ЕОП зі киснево-сріблясто-цезієвим фотокатодом також інфрачервоним прожектором з метою висвітлення помічаються предметів. Пізніше сьогодні обладнання придбали велике просування з метою дослідження також прицілювання також водіння автотранспортних грошей. Мінус пристроїв незаперечний, також з появою послідовних ЕОП, що забезпечують істотно найбільше підвищення яскравості малюнки, виникає фактична ймовірність

формування нічних пристроїв, з підтримкою яких, можливо рішуче виявляти предмети присутність природного нічної освітленості (10^{-3} - + 10^{-4} лк) на відстані більше кілометра.

Освітленість фотокатода ЕОП в такому приладі нічного бачення виражається формулою

$$E_K = \frac{\pi}{4} E_0 \tau_a \tau_0 O^2 \quad (2.5)$$

де E_0 - освітленість об'єкта спостереження, лк;

τ_a - коефіцієнт пропускання атмосфери;

τ_0 - коефіцієнт пропускання об'єктива;

O - відносна величина отвору об'єктива, рівна від- носіння його вхідного діаметра до фокусної відстані. Яскравість зображення на екрані ЕОП визначиться як

$$B_{\text{екр}} = \frac{E_K}{\pi} \eta B \quad (2.6)$$

У приладах нічного бачення недолік освітленості компенсується великим посиленням яскравості, забезпечуваним ЕОП. Роздільна здатність нічних приладів визначається роздільною здатністю ЕОП і фокусною відстанню об'єктива f .

ЕОП для приладів нічного бачення крім великого посилення яскравості повинен мати високу чутливість фотокатода, високу роздільну здатність і якомога більший (при обмежених габаритних розмірах) діаметр робочого поля фотокатода D_K . Останній параметр визначає кут поля зору приладу

$$\theta = 2 \arctg \frac{D_K}{2f} \quad (2.7)$$

Реєстрація швидкопротікаючих процесів. Радянськими науковцями були розроблені спеціальні імпульсні ЕОП для реєстрації ядерних процесів, процесів розвитку розряду в газі та інших швидкоплинних процесів. Принцип дії таких

ЕОП заснований на застосуванні швидкодіючого електронного затвора, схематично показаного на рис. 4.

Реєстрований процес фокусується оптичною системою на напівпрозорому фотокатоді 1. Емітуючі електрони, прискорюються і фокусуються електростатичною лінзою на екрані 2. електронний промінь, проходячи через отвір в аноді 3, потрапляє в систему електронного затвора (пластини 4 і 6 і діафрагма 5) і пластин кругової розгортки. Після того, як зображення з'явилося на деякій ділянці екрана 2, на пластини 4 подається швидкочасовий імпульс. Електронний промінь зміщується і виходить з отвору в діафрагмі 5. В результаті електронне зображення закривається (щоб зображення на екрані в період замикавання не змішалось, на компенсуючі пластини 6 подається імпульс зворотної полярності). Дві взаємно перпендикулярні пари пластин 7 і 8

служать для кругової розгортки зображення по екрану. Завдяки спільній дії цих пластин і затвора ЕОП може працювати в режимі високошвидкісного фоторегістратора. На екрані ЕОП виходить послідовність з декількох кадрів (рис. 4,6). У такому режимі досягається часовий дозвіл менше ніж 10-3 сек.

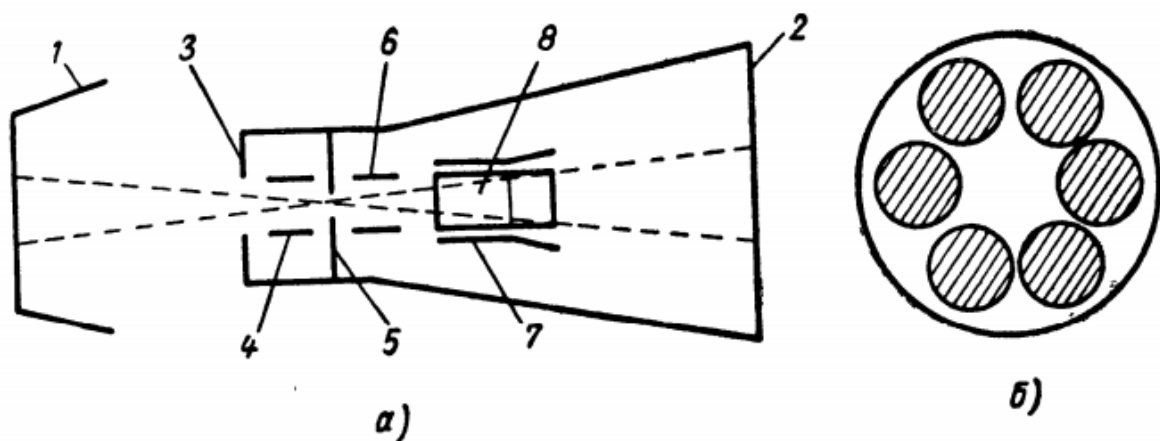


Рис. 4. Схематичне зображення імпульсного ЕОП з багатокадровою розгорткою (а) і багатокадрового зображення на екрані (б):

1 фотокатод; 2 - екран; 3 - анод; 4 пластини електронного затвора; 5 - діафрагма електронного затвора; 6 - компенсуючі пластини; 7 і 8 – пластини кругової розгортки.

У так званому режимі хронографії зображення за допомогою пластин 7 і 8 розгортається на екрані по колу або спіралі. Затвор в цьому випадку використовується для включення електронного променя в момент початку реєстрації події. У такому режимі досягається часовий дозвіл близько $3 \cdot 10^{-12}$ сек.

Для реєстрації малоінтенсивних швидкопротікаючих процесів застосовуються багатокаскадні ЕОП з електронним затвором і розгортати пластинами в першій камері.

ЕОП в астрономії.

Для зниження часу експозиції при фотографуванні далеких астрономічних об'єктів вельми плідною виявилася застосування електронно-оптичних перетворювачів.

За допомогою ЕОП вдається посилити потік фотонів, що потрапляють від далекої зірки через телескоп на фотоплівку. Для однокамерного ЕОП посилення виразиться формулою

$$\eta_{\phi} = Y \gamma_{\omega} \frac{U_a^{*1236}}{\lambda_e} \quad (2.8)$$

де η_{ϕ} - відношення числа фотонів з екрану до числа фотонів, що потрапляють на фотокатод;

Y - квантовий вихід фотокатода ЕОП;

γ_{ω} - ефективність екрану ЕОП;

U_a - анодна напруга, в;

λ_e - довжина хвилі світла, випромінюваного екраном ЕОП, нм.

Для багатолужних фотокатодів можна прийняти величину Y у видимій області, що дорівнює 10%, ефективність екранів желтозеление світіння ($\lambda_e = 550$ нм) також дорівнює приблизно 10%. Тоді при $U_a = 15\ 000$ в посилення потоку фотонів $\eta_\phi \approx 300$.

Слід, однак, мати на увазі, що екран ЕОП випромінює фотони в простір за законом Ламберта. Тому оптична система, яка формує зображення екрану на фотоплівці, збере не більше десятої частини цих фотонів. Значний виграш вдається реалізувати, тільки застосувавши конструкцію ЕОП, придатну для контактного фотографування з екрану (рис.5).

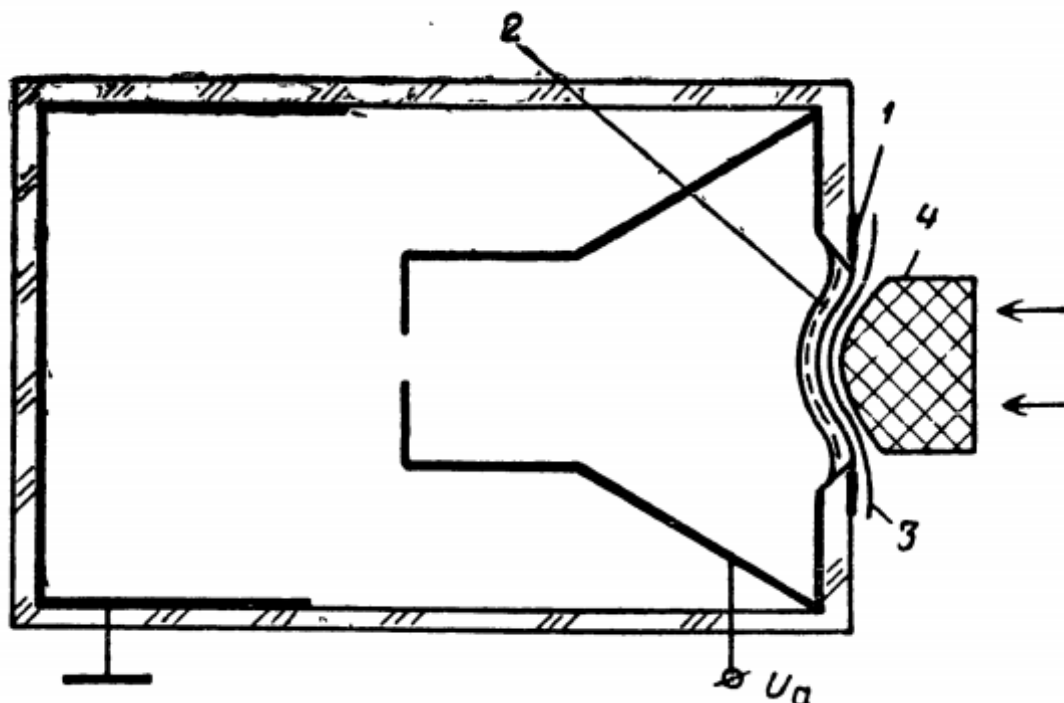


Рис. 5. ЕОП для контактного фотографування:

1 - тонка слюдяная пластинка;

2 - экран;

3 - фотоплівка;

4 - м'який механічний притиск.

Вихід дісплей подібного ЕОП заподіяно в слюдяну пластинку шириною Десяти-Двадцять мкм, герметично наліплену до вихідного віконця ЕОП. У період експозиції фотоплівку ґрунтовно притискають до слюдяними віконця також майже всі без винятку фотони, які випромінюється екраном, домагаються фотоемульсії. (Слід наголосити, то що присутність товариському фотографуванні за допомогою слюдяну платівку кілька пропадає рішення.)

Непоганий дохід в періоду експозиції присутність збереженні високого дозволу набутий під ЕОП зі тоненьким виходять слюдяним віконцем, за рахунок яких електрони пролітають зовні в ядерну емульсію, ґрунтовно попріжату до слюдяними віконця. Присутність анодном зусиллі П'ятдесят кВ також шириною двуслюдяних пластинки 8 мкм в ядерну емульсію потрапляє

приблизно 75% електронів, при цьому сила даних електронів перевершує Десяти кеВ, то що досить з метою збудженості ядерної емульсії будь-яким електроном.

ЕОП в медичній рентгеноскопії і в дефектоскопії

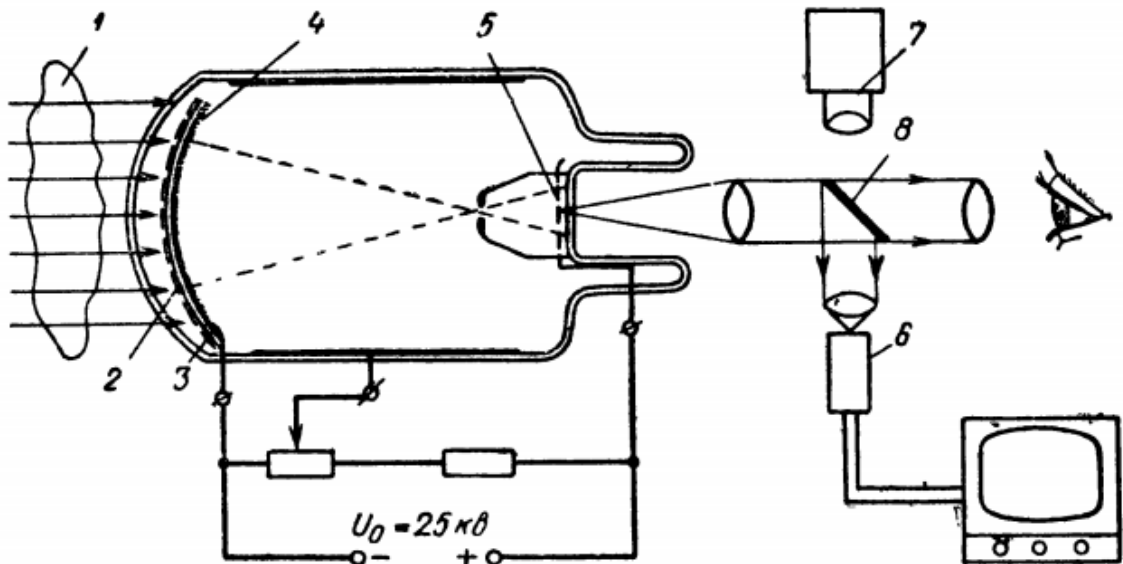


Рис. 6. Рентгенівський електронно-оптичний перетворювач:

1 - просвічують рентгенівськими променями об'єкт; 2 - рентгенівський екран; 3 - тонка прозора плівка; 4 - фотокатод; 5 - вихідний екран; 6 - видикон Телевізійного тракту; 7 - кіноапарат; 8 - перекидне дзеркало.

Через обмеження потужності опромінення обстежуваних хворих при рентгеноскопії яскравість світіння діагностичного екрану не перевищує $3 \cdot 10^{-3}$ нт, що аналогічно по яскравості освітлення ландшафту місячним світлом. Природно, що рентгенолог навіть після тривалої адаптації в темряві не може виявити малі відмінності в яскравості окремих деталей зображення. Для істотного поліпшення якості рентгеноскопії необхідно підвищити яскравість зображення щонайменше в 1000 разів.

Сучасні рентгенівські ЕОП дозволяють підвищити яскравість в 3-5 тисяч разів і забезпечують роздільну здатність близько двох пар ліній на 1 мм.

У рентгенівському ЕОП (рис. 6) має місце потрібне перетворення: за допомогою екрану 2, виготовленого з рентгенівського люмінофора і розміщеного всередині ЕОП, рентгенівське зображення об'єкта [перетворюється в світлове; світлове зображення, пройшовши через тонку (кілька десятків мікрон) прозору перегородку 3, потрапляє на фотокатод 4 і перетворюється в електронне; після прискорення в електростатичному полі електронне зображення, стисне в 10 разів, перетворюється в світлове на вихідному екрані ЕОП 5. Оптична система знову збільшує зображення, проте яскравість зображення не зменшується.

У нинішній рентгенодіагностичній техніці малюнки з початкового екрана переходить у зоровий канал, у тв канал, але крім того в кінематографа фотокамери.

Використання рентгенівських ЕОП дає можливість ніяк не тільки вдосконалити властивість малюнки присутність рентгеноскопії, проте також істотно зменшити дозу опромінення (творіння сили в період опромінення). Крім цього, ймовірність діяльності у незатуманеному приміщенні дає можливість використовувати рентгеноскопію присутність хірургічних діях.

Використання рентгенівських ЕОП у дефектоскопії з метою розкриття пошкоджень зварних шов, виливків. Аналогічно використання ЕОП у медицині.

Мета полегшується цим, то що міць опромінення у даному випадку майже не обмежена, але картинка зі підтримкою телевізійного битого шляху вводиться в величезна дистанція з досліджуваного предмета.

РОЗДІЛ 3 ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНО-АМПЛІТУДНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

3.1 Основні поняття

Залежність інтенсивності пропускання (розсіювання) світла від прикладеної до зразка напруги використовується і для амплітудної модуляції світла частотно-модульованим електричним сигналом.

Послідовно до комірки з рідким кристалом вмикають резистор R1, і в це коло подають напругу U_c з частотою F від генератора синусоїдальних коливань G . У цьому разі комірка виконує роль конденсатора, ємність якого визначається за формулою:

$$C_k = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad (3.1)$$

де ε - діелектрична проникність рідкого кристала; S – площа комірки; d – товщина рідкокристалічного шару.

Зміна частоти сигналу f спричиняє зміну провідності даного конденсатора, відповідно змінюється загальна провідність електричного кола, тобто в колі відбувається перерозподіл напруг. При збільшенні частоти сигналу, що подається з генератора, зменшується імпеданс цього кола за рахунок зменшення реактивного опору комірки-конденсатора.

Відповідно перерозподіл напруг відбувається так, що напруга на опорі зростає, а на конденсаторі (комірці) зменшується. У цій викладці була пропущена характерна особливість рідкокристалічних фаз – анізотропія діелектричної проникності. Ємність комірки не буде константою, а залежатиме від величини діелектричної проникності

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel}}{\sqrt{\varepsilon_{\perp}^2 \cos^2 \varphi + \varepsilon_{\parallel}^2 \sin^2 \varphi}}, \quad (3.2)$$

що залежить від орієнтації макроскопічного директора n РК, який, своєю чергою, переорієнтовується при зміні напруги на комірці.

Величина ємності комірки матиме два крайні значення для паралельної та перпендикулярної діелектричної проникності. Підставивши реальні значення

для однієї РК суміші, отримаємо два граничні значення ємності комірки $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, $\epsilon_{\parallel} = 20$, $\epsilon_{\perp} = 5$, $S=2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $d=25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, $C_{k\parallel}=14,16 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$ та $C_{k\perp}=3,510^{-10} \text{ Ф}$.

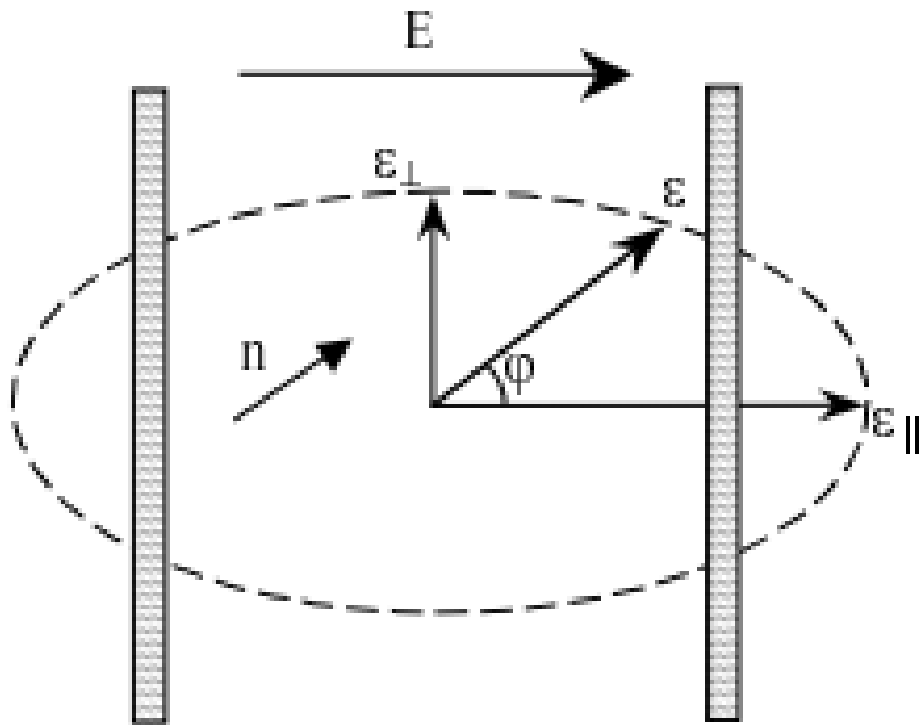


Рис.7. Схематичне зображення явища анізотропії в рідкому кристалі

Якщо амплітуда напруги на комірці, більша від напруги зворотного переходу, для РК суміші з додатним $\Delta\epsilon$ згідно з рис.1 ємність комірки буде визначатися величиною ϵ_{\parallel} . При зростанні частоти сигналу реактивний опір комірки X_c буде зменшуватись, відповідно напруга на ній падатиме, що спричинить переорієнтацію директора РК, зменшення діелектричної проникності ϵ , внаслідок чого буде спостерігатися зменшення ємності C_k , зростання реактивного опору X_c та напруги

U_k . Щоб запобігти цьому, було запропоновано ввімкнути паралельно до комірки конденсатор з набагато більшою ємністю, ніж у комірки $C_0 \gg C_k$, тобто

ємністю C_k можна знехтувати і вважати, що через комірку не буде протікати струм зміщення.

Отже, ми переходимо до схеми, в якій звичайний конденсатор з $C=const$ керує електрооптичним ефектом РК комірки.

3.2 Розрахунок RC моделі модулятора

Для здійснення модуляції необхідно визначити номінали елементів схеми, показаної на рис.4, а саме задати частоти f_1 і f_2 , які відповідають вибраному діапазону частот, напруги керування електрооптичним ефектом у рідкому кристалі U_1-U_2 , та вибрати ємність конденсатора, яка задовольняла б вимогу $C_0 \gg C_k$.

Комплексне значення напруги в колі дорівнює

$$\dot{U} = Z \cdot \dot{I} = U_R + U_C, \quad (3.3)$$

$$\dot{Z} = R_0 + X_C = R_0 - \frac{j}{\omega(C_0 + C_k)}, \quad (3.4)$$

де R_0 і X_C – активний і реактивний опори схеми відповідно; ω – кругова частота $\omega=2\pi f$, абсолютне значення опору і напруги у схемі

$$Z = \sqrt{R_0^2 + [1/\omega(C_0 + C_k)]^2}, \quad (3.5)$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}, \quad (3.6)$$

$$U = I \cdot \sqrt{R_0^2 + [1/\omega(C_0 + C_k)]^2}, \quad (3.7)$$

амплітудні значення напруги на опорі та конденсаторі відповідно становлять

$$U_R = I \cdot R_0, \quad (3.8)$$

$$U_C = I \cdot X_C = \frac{I}{\omega(C_0 + C_k)}, \quad (3.9)$$

тоді струм у колі через опір та ємність відповідно дорівнюватиме

$$I = U_R/R_0, \quad (3.10)$$

$$I = \frac{U_C}{1/\omega(C_0 + C_k)}, \quad (3.11)$$

Прирівнявши праві частини цих виразів, отримаємо формулу для визначення опору схеми

$$R_0 = \frac{U_R}{U_C \omega (C_0 + C_k)}, \quad (3.12)$$

При заданих значеннях кругових частот ω_1 та ω_2 і відповідних їм U_{R1} , U_{C1} та U_{R2} , U_{C2} отримаємо

$$R_{01} = \frac{U_{R1}}{U_{C1} \cdot \omega_1 (C_0 + C_k)}, \quad (3.13)$$

$$R_{02} = \frac{U_{R2}}{U_{C2} \cdot \omega_2 (C_0 + C_k)}, \quad (3.14)$$

В результаті проведених підстановок і спрощень отримаємо величину амплітудного значення напруги вхідного змінного сигналу

$$U = U_1 U_2 \sqrt{\frac{f_2^2 - f_1^2}{(U_2 f_2)^2 - (U_1 f_1)^2}}, \quad (3.15)$$

3.3 Вибір матеріалів та методика проведення дослідження

Об'єктами досліджень були вибрані немато-холестеричні суміші, синтезовані на базі серійної нематичної суміші СЖК-1 та промисловий зразок твіст-комірки [1-3]. Для проведення експерименту були виготовлені рідкокристалічні комірки типу "сендвіч" на сумішах СЖК + 0.5, 1, 2.5, 4, 5 % ВіХН-3 (оптично-активна домішка), із товщиною прошарку 25 мкм. Даний вибір пояснюється простотою виготовлення комірок і відсутністю поляризаторів. Холестерико-нематичні суміші є одним з найпоширеніших активних середовищ сучасних пристроїв відображення та оброблення інформації. За рахунок селективного відбивання планарних шарів рідкого кристала їх широко застосовують у відбиваючих кольорових дисплеях. Одним з вирішальних чинників, який визначає робочі характеристики пристроїв, є фізичні параметри матеріалів активних середовищ.

Додавання наночастинок до рідкокристалічного матеріалу призводить до модифікації майже всіх фізичних властивостей рідкого кристала, спричиняючи зміну як робочої напруги, так і часу відгуку та величини діелектричної анізотропії.

Крім того, холестерико-нематичний перехід (ХНП) в нематохолестеричних сумішах (НХС) є одним із перспективних ефектів у рідких кристалах.

В експерименті не враховувались спектри поглинання рідких кристалів [4], тому що у видимому діапазоні СЖК-1 прозорий для випромінювання He-Ne лазера з довжиною хвилі 0,639 мкм, який використовувався в експерименті. Вхідний та вихідний сигнали контролювали на осцилографі та цифровому вольтметрі [5]. Вхідний сигнал подавався з генератора керованої частоти, а вихідний знімався з фотоприймача (ФД у генераторному ввімкненні). Схема експериментальної установки, на якій проводились дослідження, наведена на рис.8.

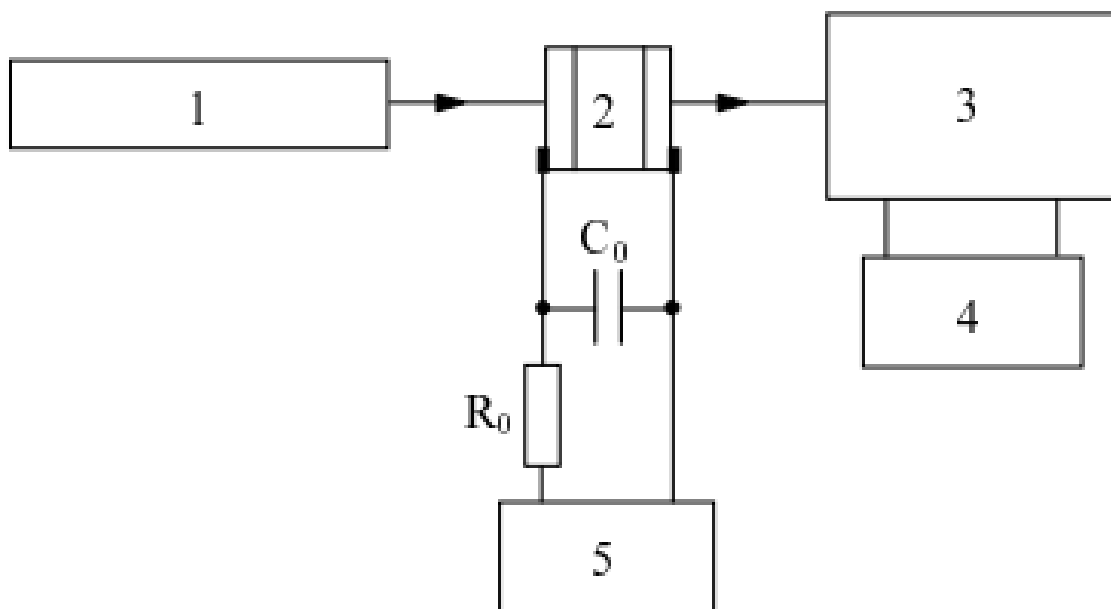


Рис.8. Схема експериментальної установки: 1) лазер; 2) комірка з РК; 3) приймач; 4) вольтметр; 5) генератор

3.4 Результати вимірювань

На графіках (рис.9) зображені контрастні характеристики у залежності від частоти сигналу для вмісту ВіХН 0.5, 1, 2.5 % в РК суміші. Ці залежності являють собою зворотні ХНП.. При низькій частоті напруга на комірці висока, рідкий кристал має квазінематичну структуру (комірка повністю просвітлена). При збільшенні частоти сигналу зменшується напруга на конденсаторі, квазінематична структура руйнується і комірка починає розсіювати світло. При певному значенні частоти, а отже, напруги на комірці, спостерігається максимальне розсіювання (мінімальне значення інтенсивності на виході), що мало відрізняється від власного розсіювання комірки (за відсутності електричного поля). Частота імпульсів не впливає на крутість переходу за умови, якщо дана частота вища від частоти чутливості РК суміші (частота, при якій молекули РК не встигають переорієнтовуватись за зміною напрямку поля).

Дослідження проводились у частотному діапазоні, в якому діелектрична анізотропія, а отже, і крива оптичного пропускання РК комірки, не залежить від частоти (рис.10).

При збільшенні концентрації оптично активної домішки зростає напруга переходів та їх крутість. Збільшення концентрації домішки зменшує крок надмолекулярної спіралі P_0 , що є прямим наслідком збільшення напруги переходу та його крутості. На частотних залежностях це проявляється в перемиканні комірки із просвітленого в розсіювальний стан при нижчих частотах, тобто при більших амплітудах сигналу на комірці. Регулюючи такий параметр, як крок спіралі, вмістом ОАД, ми також змінюємо інтенсивність розсіювання світла у непросвітленому стані. Більш закручена надмолекулярна спіраль інтенсивніше розсіює світло. інтенсивність пропускання у просвітленому стані залишається незмінною, тобто, змінюючи концентрацію ОАД, можна незначною мірою змінювати контраст, залишаючи товщину РК шару постійною.

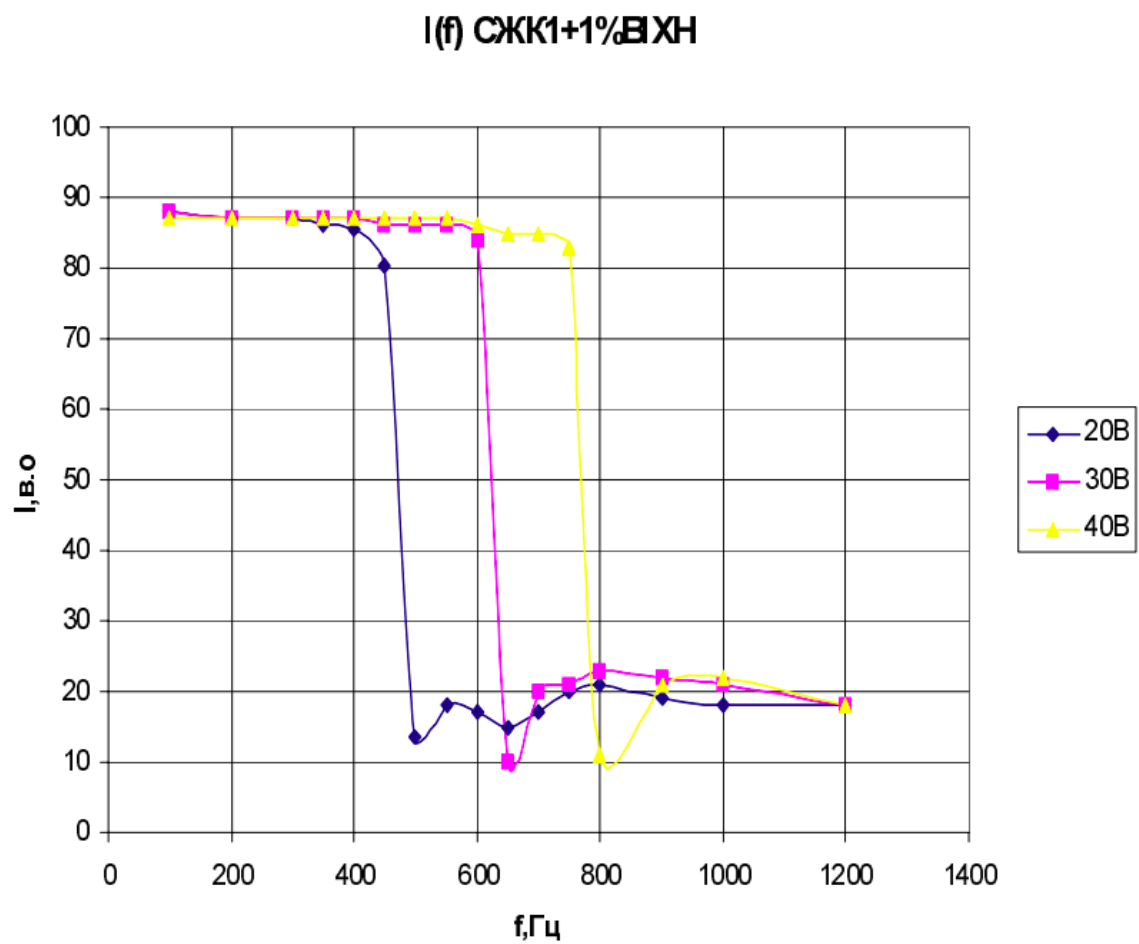


Рис. 9а. Залежність інтенсивності пропускання світла коміркою від частоти керуючого сигналу при різних значеннях його амплітуди для СЖК1+1%ВіХН

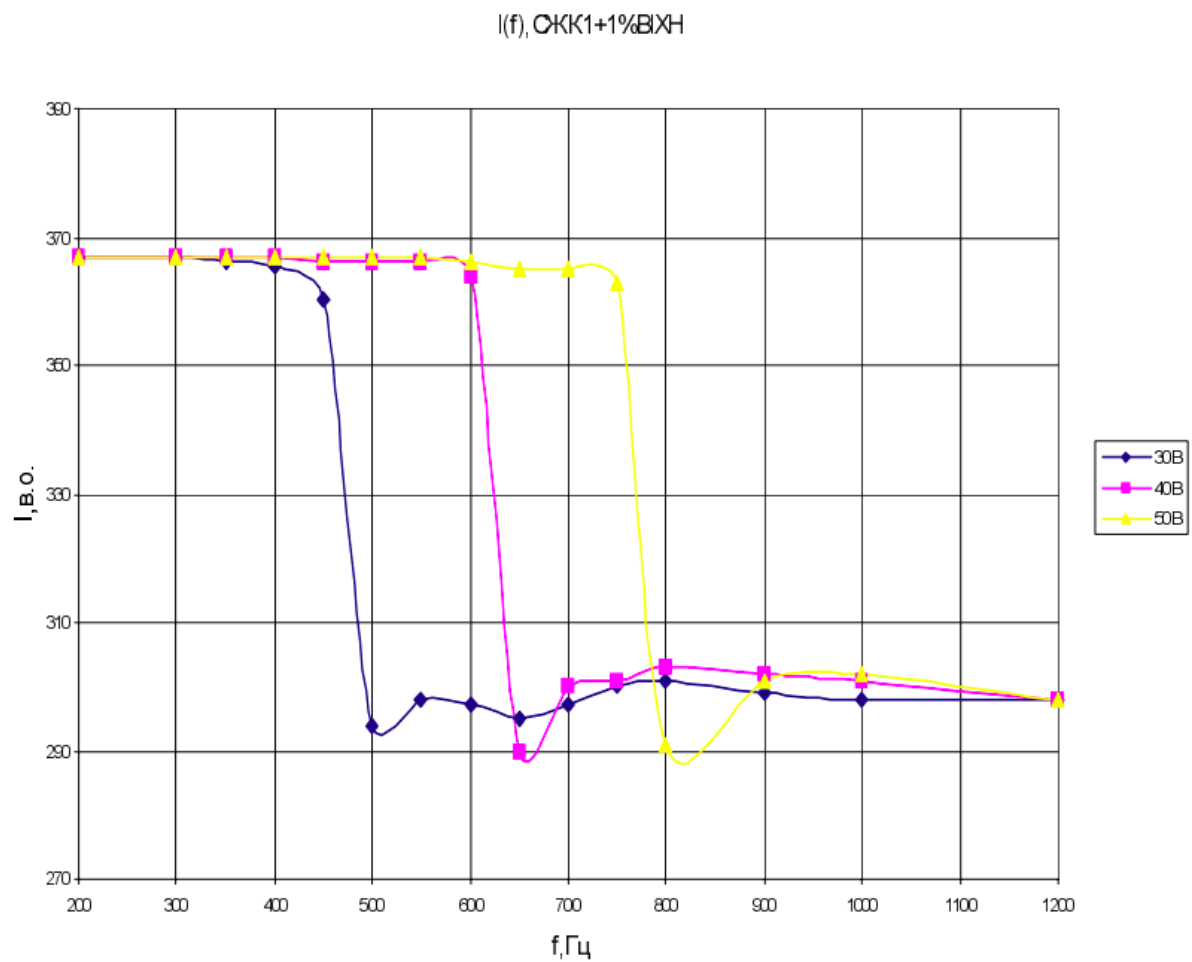


Рис. 9б. Залежність інтенсивності пропускання світла коміркою від частоти керуючого сигналу при різних значеннях його амплітуди для СЖК1+2.5%ВіХН

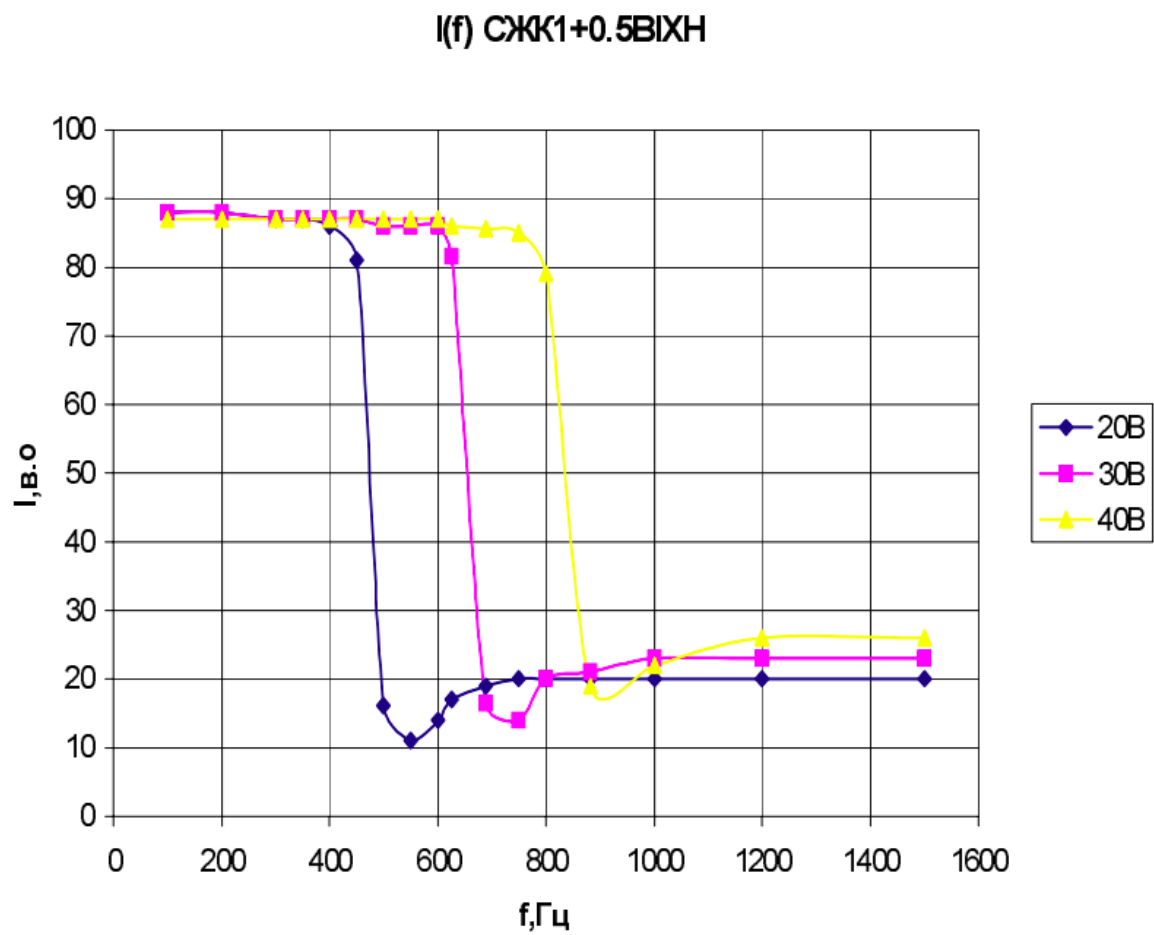


Рис. 9в. Залежність інтенсивності пропускання світла комірною від частоти керуючого сигналу при різних значеннях його амплітуди для СЖК1+0.5%ВіХН

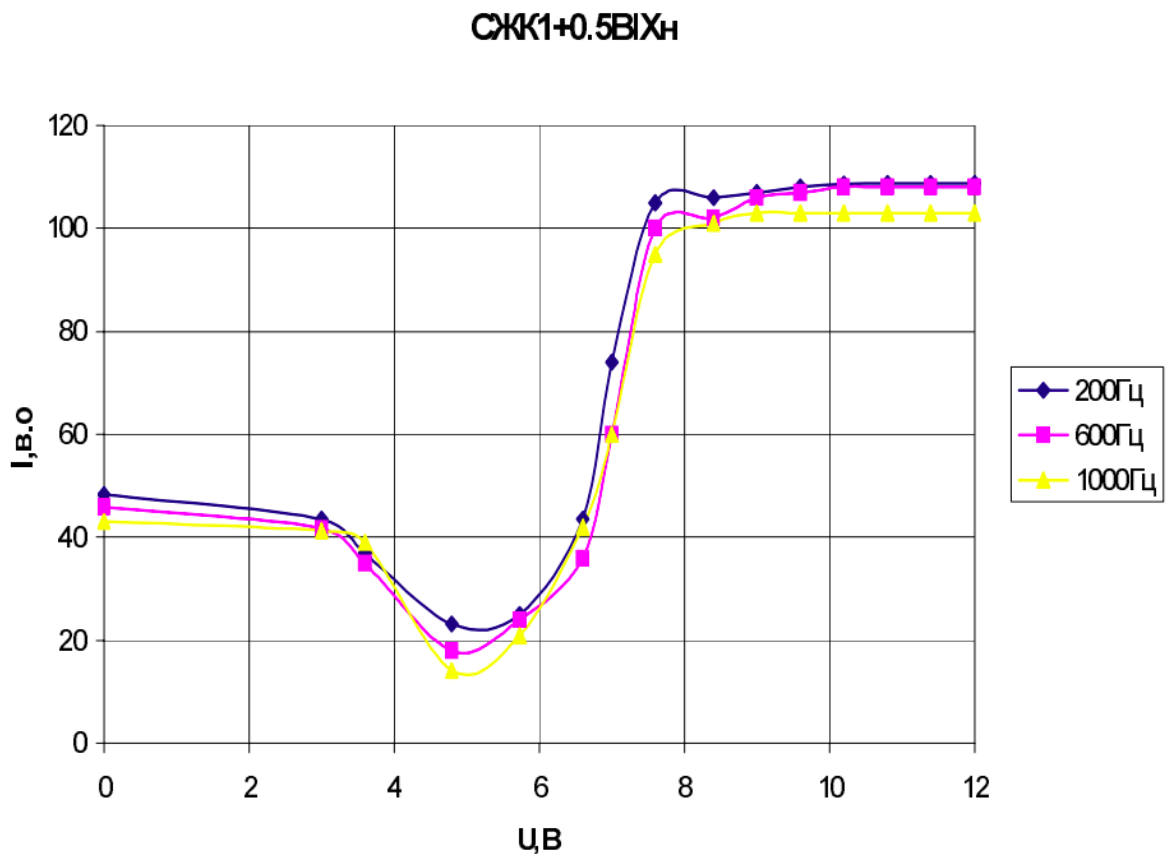


Рис. 10. Залежність оптичного пропускання РК комірки від напруги при різних значеннях частоти для СЖК1+0.5%ВіХН

Порівнюючи порогові напруги ХНП переходів при змінній та постійній напругах, можна побачити, що ХНП перехід в одному і тому самому матеріалі при змінній напрузі буде відбуватися швидше, ніж при постійній. Як видно з графічних залежностей, напруги цих переходів відрізняються приблизно у 2 рази. У разі постійної напруги перехід в СЖК1+0.5%ВіХН відбувається при величині $U=15\text{В}$, а у разі змінної синусоїдної напруги при $U=8\text{В}$. Якщо на комірку подавати півперіодний сигнал, не змінюючи його амплітуди, перехід буде відбуватися при більшому значенні амплітуди напруги, ніж для такого самого значення постійної напруги.

Типова вольт-контрастна характеристика твіст-ефекту зображена на рис.10. На рис.11. зображено контрастну характеристику твіст-ефекту при

керуванні зміною частоти. Порівняно з ХНП твіст-ефект має значно менші напруги керування, більшу швидкодію, вищу контрастність. Однак виготовлення твіст-комірок складніше.

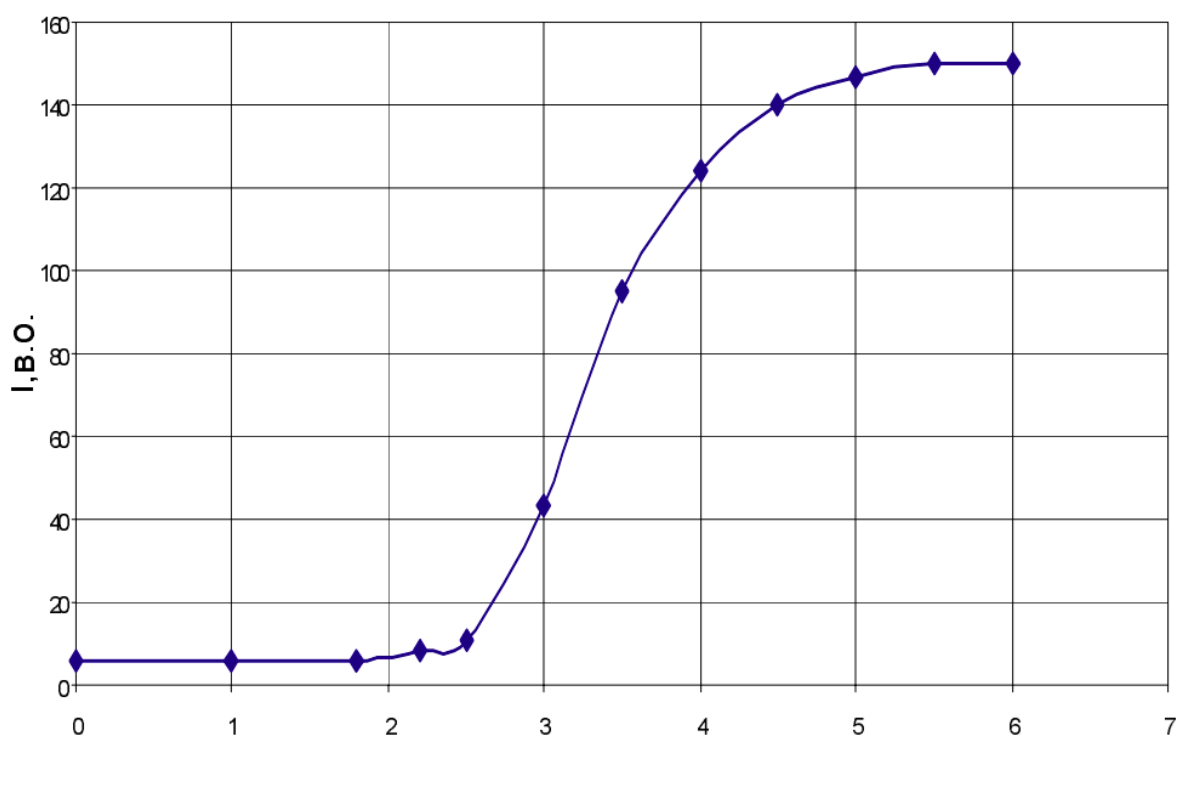


Рис. 11. Вольт-контрастна характеристика твіст-комірки

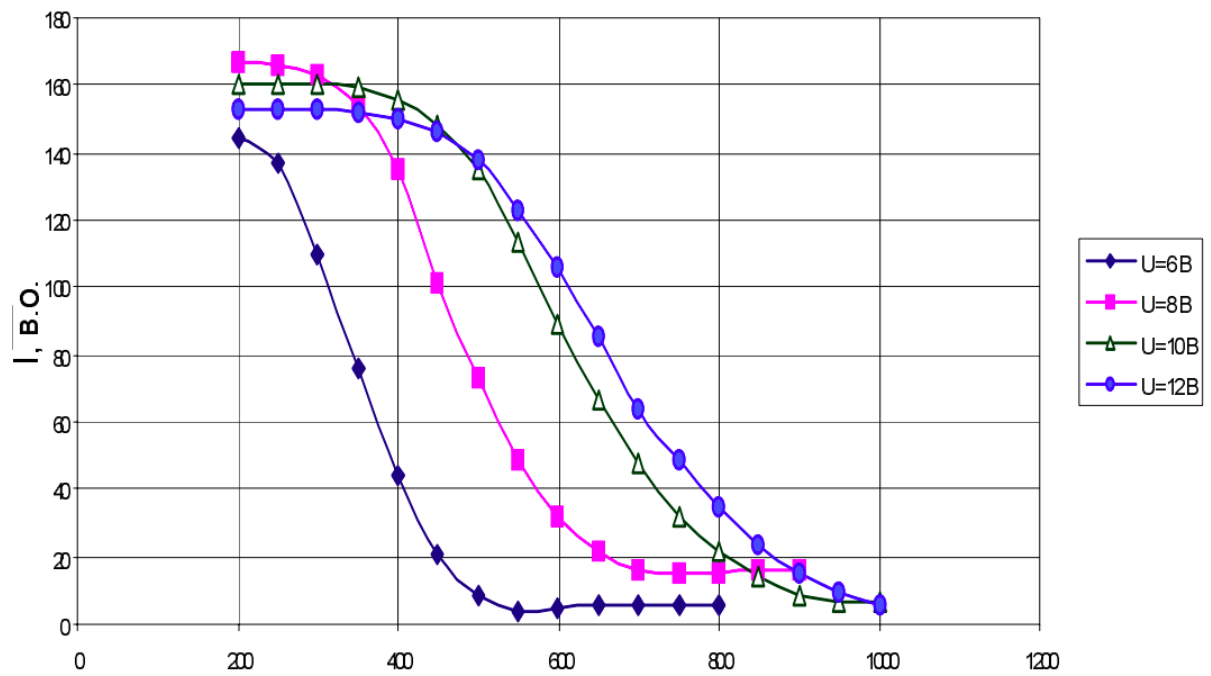


Рис. 12. Залежність інтенсивності пропускання світла твіст-комірною від частоти

РОЗДІЛ 4: РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Провести розробку приладу прибору нічного бачення	1 В охоронних цілях для патрулювання території в темний час доби	іЧ-підсвічування Кут зору
	2 В полюванні	Дистанція виявлення
	3 В воєнних цілях	Мініатюрність, мала вага і висока швидкодія сучасних апаратних засобів.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторон а)	N (нейтр а льна сторона)	S (силь на сторона)
		Мій проект	Levenh uk Wise	Yukon NVMT	Pulsar Edge			
1.	Дальність бачення, м	300	200	50	200			+
2.	Робоча температура, °C	-40 +40	-25 +30	-30 +40	-20 +30			+
3.	Розмір, мм	150x7 1x44	160x71 x54	182 x 70 x 82	163 x 113 x 60		+	
4.	Кут, °	40	40	30	36		+	
5.	Маса. г	800	600	500	660	+		

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Провести розробку арсенід-галієвих (AsGa) фотокатодів	Введення в активний шар GaAs 10-15% -й добавки індію і створення потрібного з'єднання InGaAs	Наявна	Доступна
		AsGa фотокатод	Наявна	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Всі компоненти наявні в широкому доступі.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку
стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, <i>од</i>	6
2.	Загальний обсяг продаж, <i>грн/ум.од</i>	~ 100000 \$
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15 %

Оскільки середня рентабельність становить близько 10 %, ринок можна вважати прибутковим.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Безпека, Необхідність визначення складу якісного/кількісного середовища	Дослідницьк і лабораторії, військова промисловість	Поведінку клієнта формують надійність, висока повторюваність	Достовірність даних по властивостях матеріалу, чіткий бізнес-план.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Наявність кваліфікованих кадрів	Продукт є наукоємним тому потрібні люди з певними навичками	Пошук персоналу у науково-дослідних інститутах та організаціях
2.	Глобальна економічна криза	Проблеми з капіталізацією, зниження продажів	Підвищення цін. Розробка кращого і більш дешевого методу. Пошук нових ринків.
3.	Проблеми постачання	Проблеми зі збіркою нових пристроїв	Пошук нових постачальників

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Спонукає розробляти і виробляти нові продукти, знижувати витрати їх виробництва і вартість	Ускладнення структури та функціональної наповненості товару
2.	Попит	Зацікавленість військової сфери	Налагодження мостів із державою.
3.	Зростання ринку композиційних матеріалів	Зростання об'ємів продажу	Накопичення капіталу для подальшого розширення компанії

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
--------------------------------------	---	--

1. Вказати тип конкуренції: - олігополія	На ринку присутня дуже невелика кількість фірм, які займаються поглинальними композитними матеріалами	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій та залучення кваліфікованих кадрів
2. За рівнем конкурентної боротьби: - національний	На Україні дуже мала кількість компаній, загалом всі фірми знаходять за кордоном	Створювати локалізований веб-сайт компанії і налагоджувати експорт продукції
3. За галузевою ознакою: - внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	Відслідковувати продукти конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару
5. За характером конкурентних переваг: - не цінова	Ціна продукції досить висока, тому головне досягти хорошої якості	Продавати товар за конкретною ціною.
6. За інтенсивністю: - не марочна	Боротьба носить явно не марочний характер	Відсутність у галузі такого поняття, як «Бренд».

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Компанія ООО “Меркурій ТЕХНОЛОДЖІ”	-	Кількість постачальників	Вимоги до якості (відтворюваність заявлених властивостей)	Замінники існують, проте технологічно не вигідні
Висновки	інтенсивність висока, бо продукт є наукоємним і тому не кожна фірма здатна розробити такий продукт	-	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Товар має бути якісним та мати сталі властивості	Обмежень немає

Незважаючи на високу конкуренцію в даній галузі, входження можливе завдяки низькій ціні і новим можливостям прототипу.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Оскільки ціна нижча ніж у конкурентів
2	Терміни та масовість виробництва	Необхідно вчасно постачати продукт і знижувати ціну виробництва.
3	Гарні робочі характеристики	Сенсорні можливості пристрою знаходяться на рівні з конкурентами.
4	Метод детектування	Оптичний метод детектування розширює спектр застосувань

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим проектом						
			-3	-2	-1		1	2	3
1	Ціна	14			+				
2	Терміни та масовість виробництва	15					+		
3	Гарні робочі характеристики	20							+
4	Метод детектування	20				+			

.									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: гарні робочі характеристики, надійність	Слабкі сторони: ціна.
Можливості: знижувати витрати на виробництво продукції, покращувати властивості.	Загрози: відсутність кваліфікованих кадрів на ринку праці; зниження попиту; поява нових конкурентів.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Розробка більш дешевого композита з такими ж властивостями.	50 %	2 роки
2.	Розробка більш дешевого композита з дещо гіршими властивостями.	75 %	1 рік

Обрано альтернативу № 2.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Дослідницькі лабораторії	Готові	Високий	Низька	Низька
2.	Військові структури	Готові	Високий	Висока	Висока
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1 та №2.					

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Розробка більш дешевого композита з такими ж властивостями	За рахунок пріоритету вибору більш дешевого аналога з подібними характеристиками	Можливість досягнення тих же результатів з використанням більш дешевих підходів	Стратегія лідерства на витратах

2.	Розробка більш дешевого композита з дещо гіршими властивостям и	За рахунок пріоритету вибору більш дешевого аналога	Дещо понизити рівень пропонованих властивостей продукту, щоб знизити ціну	Стратегія диференціації
----	--	---	--	----------------------------

Обрано стратегію диференціації.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідце м» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Обидва варіанти	Ні	Заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Якість	Лідерства на витратах	Висока якість	Оптимальне співвідношення ціна/якість, покращення існуючих характеристик.
2	Точність	Лідерства на витратах	Висока точність	
3	Ціна	Лідерства на витратах	Низька ціна	

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Низька ціна	Найнижча ціна на ринку	Найнижча ціна на ринку
2.	Висока якість	Висока якість	Висока якість
3.	Високі електродинамічні властивості	Одні із найкращих властивості	Хороший коефіцієнт поглинання

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
i. Товар за задумом	Поглинальне покриття на основі метало-діелектричних композитів		
ii. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Діапазон робочих частот	М	Вр
	2. Коефіцієнт поглинання	М	Тх
		М	Тл
	3. Робоча температура		
	Якість: відповідає вимогам стандартів		
	Пакування: пристрій		
Марка: «КОМПОZiТ»			
iii. Товар із підкріпленням	До продажу: договір, гарантія.		
	Після продажу: доставка, підтримка.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентні права.			

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	-	300 – 1500\$	більше 4000\$	100 – 600\$

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибин а каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Найкращі характеристики за найнижчу ціну	Встановлення контакту з клієнтами, інформування про характеристики сенсора, зберігання.	Канал першого рівня	Виробни к безпосередньо збуває продукці ю покупцям

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канал и комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Вибір найбільш привабливого і надійного продукту	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи	Якість, високі електродинамічні властивості	Показати всі переваги вдосконаленого продукту.	Хороші характеристики та висока якість

ВИСНОВКИ

Розглянута можливість використання рідкокристалічної комірки як задаючого елемента при перетворенні електричного сигналу певної частоти в амплітудно-модульований оптичний сигнал. Розроблено і проведено аналіз RC моделі для встановлення взаємозв'язку між інтервалом частот електричного сигналу та діапазоном оптичного пропускання комірки. Показано, що для зміни частотного діапазону електричного сигналу, який подається на комірку, необхідно змінювати параметри RC ланцюга, враховуючи РК комірку.

Зміна частоти сигналу f спричиняє зміну провідності даного конденсатора, відповідно змінюється загальна провідність електричного кола, тобто в колі відбувається перерозподіл напруг. При збільшенні частоти сигналу, що подається з генератора, зменшується імпеданс цього кола за рахунок зменшення реактивного опору комірки-конденсатора.

Відповідно перерозподіл напруг відбувається так, що напруга на опорі зростає, а на конденсаторі (комірці) зменшується. У цій викладці була пропущена характерна особливість рідкокристалічних фаз – анізотропія діелектричної проникності. Ємність комірки не буде константою, а залежатиме від величини діелектричної проникності.

При збільшенні концентрації оптично активної домішки зростає напруга переходів та їх крутість. Збільшення концентрації домішки зменшує крок надмолекулярної спіралі P_0 , що є прямим наслідком збільшення напруги переходу та його крутості. На частотних залежностях це проявляється в перемиканні комірки із просвітленого в розсіювальний стан при нижчих частотах, тобто при більших амплітудах сигналу на комірці.

Більш закручена надмолекулярна спіраль інтенсивніше розсіює світло. інтенсивність пропускання у просвітленому стані залишається незмінною,

тобто, змінюючи концентрацію ОАД, можна незначною мірою змінювати контраст, залишаючи товщину РК шару постійною.

Порівнюючи порогові напруги ХНП переходів при змінній та постійній напругах, можна побачити, що ХНП перехід в одному і тому самому матеріалі при змінній напрузі буде відбуватися швидше, ніж при постійній. Як видно з графічних залежностей, напруги цих переходів відрізняються приблизно у 2 рази. У разі постійної напруги перехід в СЖК1+0.5%ВіХН відбувається при величині $U=15\text{В}$, а у разі змінної синусоїдної напруги при $U=8\text{В}$. Якщо на комірку подавати півперіодний сигнал, не змінюючи його амплітуди, перехід буде відбуватися при більшому значенні амплітуди напруги, ніж для такого самого значення постійної напруги.

Порівняно з ХНП твіст-ефект має значно менші напруги керування, більшу швидкодію, вищу контрастність. Однак виготовлення твіст-комірок складніше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фечан А. Елементи оптоелектроніки на основі рідкокристалічних матеріалів – Львів:Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 115 с.
2. З.М.Микитюк, А.В.Фечан, Ю.В.Семенова, В.Г.Іваницький Електрооптичне частотно-амплітудне перетворення сигналів - ДУ “Львівська політехніка”, 2000.
3. М.К. САМОХВАЛОВ Элементы и устройства оптоэлектроники1987. – Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям “Проектирование и технология электронных средств”. Ульяновск; УлГТУ, 2003. - 125 с.
4. Sukhorukov A.A Spatial optical solitons in waveguide arrays / A.A. Sukhorukov, Y.S. Kivshar, H.S Eisenberg // Quantum Electron. – 2003 –P.31-50
5. Rapaport D. The art of molecular simulation, from algorithms to applications / D.Frenkel, B.Smit – New York: Academic, 2002. – 638 с.
6. Leach A. Molecular modeling: principles and applications / A.Leach – Harlow: Pearson, 2001. – 784 p.
7. Fincham D. More on rotational motion of linear molecules / D.Fincham //Quart – 1984, - P.47-48.